বিশ্ববিদ্যালয় প্রবেশিকা

পদার্থবিদ্যা

[প্রথম ও দ্বিতীয় খণ্ড একত্রে সমাপ্ত]

Written according to the syllabi of Pre-University and University Entrance courses of the Universities of Calcutta, Burdwan and North Bengal

চণ্ডীচরণ বন্দ্যোপাধ্যায়, এম. এস্‌সি.
পদার্থবিদ্যার অধ্যাপক, বিদ্যাসাগর কলেজ, কলিকাতা
সুহাসরঞ্জন বন্দ্যোপাধ্যায়, এম. এস্‌সি.
পদার্থবিদ্যার অধ্যাপক, বিদ্যাসাগর কলেজ, কলিকাতা

বিদ্যোদয় লাইব্রেরী প্রাইভেট লিমিটেড
৭২ মহাত্মা গান্ধী রোড ॥ কলিকাতা ৯

প্রথম প্রকাশ

প্রথম খণ্ড : অগস্ট ১৯৬০ ● দ্বিতীয় খণ্ড : অক্টোবর ১৯৬০

রেখাচিত্র

নিশীথ রায়চৌধুরী

প্রচ্ছদ

শঙ্কর দাশগুপ্ত

মূল্য

ন টাকা পঞ্চাশ নয়া পয়সা

বিদ্যোদয় লাইব্রেরী প্রাইভেট লিমিটেডের পক্ষে
শ্রীমনোমোহন মুখোপাধ্যায় কর্তৃক প্রকাশিত।

শ্রীনীলরতন চট্টোপাধ্যায় কর্তৃক জ্ঞানোদয় প্রেস,
১৭ হায়াৎ খাঁ লেন, কলিকাতা ৯ হইতে মুদ্রিত।

দ্বিতীয় সংস্করণের ভূমিকা

অল্প সময়ের মধ্যে বইখানির দ্বিতীয় সংস্করণ প্রকাশের প্রয়োজন হওয়ায় বিজ্ঞানশিক্ষার মাধ্যম হিসাবে কলেজের শিক্ষার্থীদের মধ্যেও মাতৃভাষার জনপ্রিয়তা বৃদ্ধি প্রকাশ পাইতেছে। দ্বিতীয় সংস্করণে বহু পরিবর্তন এবং নূতন বিষয় সংযোজন করা হইল। বহু উদাহরণও যোগ করা হইল।

বিভিন্ন কলেজের অধ্যাপক মহাশয়েরা প্রথম সংস্করণের বইখানি পড়িয়া ইহার উৎকর্ষসাধনের জন্য আমাদের যে সকল মূল্যবান পরামর্শ দিয়াছিলেন তাহা কৃতজ্ঞতার সহিত গৃহীত হইয়াছে।

এই বিষয়ে নব ব্যারাকপুর কলেজের অধ্যাপক বীরেন্দ্রনাথ পারিয়া, এম. এস-সি., বিদ্যাসাগর সান্ধ্য কলেজের অধ্যাপক সুশীল কুমার কর্মকার, এম. এস-সি. এবং খড়্গপুর কলেজের অধ্যাপক অজিত কুমার চৌধুরী, এম. এস-সি. আমাদের বিশেষ ধন্যবাদের পাত্র।

বিনীত,

গ্রন্থকারদ্বয়

প্রথম সংস্করণের ভূমিকা

মাতৃভাষার মাধ্যমে বিজ্ঞানের প্রাথমিক পাঠ শিক্ষার্থীদের পক্ষে অনেক সহজ হইবে এই ধারণার বশবর্তী হইয়াই আমরা বিশ্ববিদ্যালয় প্রবেশিকা পদার্থবিদ্যা রচনা করিয়াছি। উচ্চতর শিক্ষার ক্ষেত্রে এখনও কিছুদিন আমাদের ইংরাজি ভাষার সাহায্য গ্রহণ করিতে হইবে একথা স্বীকার করিলেও আমরা আশা রাখি অদূর ভবিষ্যতে যে কোনও বিষয়ের উচ্চতর জ্ঞান বাংলাভাষার মাধ্যমেই গ্রহণ করা যাইবে।

বাংলাভাষায় প্রচলিত পরিভাষাকে গ্রহণ করিয়াও এই পুস্তকে কোথাও কোথাও তুই একটি নূতন শব্দযোজনা করা হইয়াছে। আমাদের মনে হয় ইংরাজিতে প্রচলিত বিভিন্ন বৈজ্ঞানিক পরিভাষার পরিবর্তন না করিয়া বাংলাভাষার ব্যবহার করিলে বোধ হয় ভাল হয়। পরিভাষার জন্য নূতন নূতন শব্দসৃষ্টির যথেষ্ট প্রয়োজন আছে অস্বীকার করি না। কিন্তু প্রাথমিক পাঠে ইংরাজি পারিভাষিক শব্দের ব্যবহার শিক্ষার্থীদিগকে উচ্চতর শিক্ষায় সাহায্য করিবে বলিয়া মনে হয়। বাংলাভাষায় বিদেশী শব্দ গ্রহণ আমরা করি নাই এমন নহে। সুতরাং বিজ্ঞান শিক্ষার জন্য ইংরাজি পরিভাষা গ্রহণ করিলে বোধ হয় কোনও দোষ হইবে না, বরং ইহাতে ভাষার শব্দভাণ্ডার বৃদ্ধি পাইবে।

পাঠ্যতালিকায় বিষয়ীভূত সকল কিছুই যথাসম্ভব সহজ ভাবে আলোচনা করার চেষ্টা করিয়াছি। এই প্রচেষ্টায় আমরা কতদূর সাফল্য অর্জন করিয়াছি তাহা সহকর্মীদের বিচার্য। বইখানি ত্রুটিশূন্য করিবার যথাসাধ্য চেষ্টা সত্ত্বেও কিছু ভুলত্রুটি থাকিয়া যাওয়া অসম্ভব নহে। কোনও

ভুলত্রুটির বিষয় এবং বইখানির উন্নতিকল্পে যে কোনও পরামর্শ আমাদের জানাইলে কৃতজ্ঞ বোধ করিব।

পুস্তক রচনায় যাঁহাদের সাহায্য ও পরামর্শ পাইয়াছি তাঁহাদের প্রতি কৃতজ্ঞতা জ্ঞাপন করিতেছি। প্রথমেই বিদ্যোদয় লাইব্রেরীর শ্রীদীনেশচন্দ্র চট্টোপাধ্যায় মহাশয়ের নাম উল্লেখযোগ্য। বিজ্ঞানের পাঠ্যপুস্তক প্রকাশে তাঁহার অসীম আগ্রহের জন্যই পুস্তকখানি প্রকাশিত হইল। এই প্রতিষ্ঠানের শ্রীমনোমোহন মুখোপাধ্যায়, শ্রীজিতেন্দ্রনাথ দাস ও অন্যান্য কয়েকজন পুস্তকখানি ত্রুটিবিহীন করার জন্য যে নিরলস চেষ্টা করিয়াছেন তাহা অতুলনীয়। বিদ্যাসাগর কলেজের অবসরপ্রাপ্ত অধ্যাপক শৈলজানন্দ রায়, বর্তমান উপাধ্যক্ষ হরপ্রসাদ দে, অধ্যাপক বিনয়ভূষণ মুখোপাধ্যায়, অধ্যাপক দ্বিজেন্দ্রলাল ভাদুড়ী, অধ্যাপক সুধীরচন্দ্র রক্ষিত, অধ্যাপক সুশোভন বন্দ্যোপাধ্যায় ও সাহিত্যিক বন্ধু শ্রী শিশিরচন্দ্র সেনগুপ্ত নানাবিধ পরামর্শদানে আমাদিগকে বিশেষ উপকৃত করিয়াছেন। গ্রন্থখানির রেখাচিত্র (Designs) অঙ্কনে শিল্পী শ্রীনিশীথ রায়চৌধুরী যে শ্রমস্বীকার করিয়াছেন তাহাও উল্লেখযোগ্য।

বিদ্যাসাগর কলেজ, কলিকাতা
২রা অগস্ট, ১৯৬০

গ্রন্থকারদ্বয়

॥ প্রথম খণ্ড ॥

Syllabus

PHYSICS

The course shall comprise :

THEORETICAL

GENERAL PHYSICS

Length, mass and time, c. g. s. and f. p. s. units ; decimal measure and its usefulness ; measurement of length, volume, mass, weight, time and angle ; beam balance and spring balance.

General ideas on motion, velocity, acceleration and momentum ; equations of uniformly accelerated motion (algebric and graphical methods) ; Newton's laws ; inertia ; Force ; Weight, action and reaction ; Effects of force (movement and acceleration) ; absolute and gravitational units of force ; measurement of force by spring balance ; work, energy and power, and their units.

Simple pendulum (experimental study only).

Elasticity ; Hooke's law ; linear and volume stresses ; elastic limit.

General idea of friction and reduction and frictional force by lubrication.

Fluid pressure ; pressure and thrust ; pressure in liquids ; Charactoristics of liquid pressure ; Transmission of fluid pressure ; Pascal's law ; Hydraulic Press ; Hydraulic garage lift—Archimede's principle and buoyancy ; Floatation of ships and balloons ; Hydrometers ; submerged, floating and sinking bodies.

Density and specific gravity ; measurements of density and specific gravity of solids (regular and irregular shape) and liquids ; Density of gas.

Atmospheric pressure ; Barometer and its use ; Pressure in gases ; Effect of moisture on atmospheric pressure ; weather maps ; Pumps ; Siphon.

HEAT

Effects of heat ; Temperature and its measurement ; Fahrenheit and Centigrade scales and their conversion ; Thermometers (ordinary, maximum, minimum and clinical).

Expansion of solids, liquids and gases : Forces of expansion or contraction.

Measurement of heat ; Units of heat ; Specific heat ; thermal capacity and water equivalent ; Heat lost—heat gained ; Method of mixtures (Experiment and calculation).

Melting, evaporation and boiling. Fffects of pressure ; Cooling effect of evaporation ; Latent heat ; Determination of melting point of crystalline solid (graphical method) ; freezing point of salt water.

Moisture in air, Dew point ; Relative humidity ; Dew, mist, cloud and rain ; Determination of relative humidity (wet and dry bulb, hygrometer and Regnault's hygrometer).

Conduction, convection and radiation ; Ingenhausz's experiment ; Davy's safety lamp ; Cooper spiral and candle flame experiment Effects of cotton and woolen clothings ; Ventilation ; Land and sea breezes ; cooling system of an automobile engine ; Thermosflask.

Heat as a form of energy : Conservation of energy ; Mechanical equivalent of heat ; Joule's experiment ; Conversion of heat into ; work in engines (outline only).

LIGHT

Rectilinear propagation ; Pin-hole camera ; Shadows ; Umbra and Penumbra ; Shadows by point and extended sources ; Eclipses of sun and moon.

Value of speed of light (mention only).

Reflection at a plane surface ; Laws of reflection and their verification ; Image distance equal to object distance ; Lateral inversion ; Inclined mirrors ; Periscope ; Keleidoscope ; Effect of rotating a mirror ; Effect of motion of object or mirror on image ; Size of mirror for full image of a person.

Refraction at a plane surface, Snell's law and its verification ; Total refraction ; Critical angle, Examples of total reflection : Dispersion of light by prism ; Composite nature of white light : Reference to the colours of the rainbow ; Production of spectrum by prism ; Experiments on recombination of colours by inverted prisms (Hartle's disc method), and Newton's colour disc.

Lens (graphical treatment only) ; Focal length ; Real and virtual images ; Megnification : Determination of focal length of convergent lenses.

॥ বিষয়-নির্দেশ ॥

সূচনা

সাধারণ পদার্থবিদ্যা

প্রথম অধ্যায় ॥ বিভিন্ন পরিমাপ ও একক প্রণালী

দ্বিতীয় অধ্যায় ॥ বলবিদ্যা

তৃতীয় অধ্যায় ॥ নিউটনের বলসূত্র

চতুর্থ অধ্যায় ॥ মহাকর্ষ ও অভিকর্ষ

পঞ্চম অধ্যায় ॥ কার্য ও শক্তি

ষষ্ঠ অধ্যায় ॥ দোলক, স্থিতিস্থাপকতা ও ঘর্ষণ

সপ্তম অধ্যায় ॥ তরল পদার্থের চাপ ও ঘাত

অষ্টম অধ্যায় ।। প্লবতা ও আর্কিমিদিসের সূত্র

নবম অধ্যায় ।। আপেক্ষিক গুরুত্ব

দশম অধ্যায় ।। বায়ুমণ্ডলের চাপ

একাদশ অধ্যায় ।। কয়েকটি যন্ত্র

তাপ

প্রথম অধ্যায় ।। থার্মোমিতি

দ্বিতীয় অধ্যায় ।। ক্যালরিমিতি

তৃতীয় অধ্যায় ॥ অবস্থা পরিবর্তন

চতুর্থ অধ্যায় ॥ অবস্থার পরিবর্তন—তরল হইতে গ্যাস

পঞ্চম অধ্যায় ॥ বায়ুমণ্ডলের আর্দ্রতা ও হাইগ্রোমিতি

ষষ্ঠ অধ্যায় ॥ তাপের দ্বারা পদার্থের প্রসারণ

সপ্তম অধ্যায় ॥ তরল ও গ্যাসের প্রসারণ

অষ্টম অধ্যায় ॥ তাপসঞ্চালন

সূচনা

আমরা প্রকৃতির রাজ্যে বাস করি। নানা বিচিত্র রূপ ও বিচিত্র ঘটনায় এই প্রকৃতির রাজ্য পরিপূর্ণ। আদিম যুগ হইতেই এই সকল বৈচিত্র্যের কারণ অনুসন্ধানে মানুষ প্রবৃত্ত হইয়াছে। আবার নিতান্ত প্রয়োজনের তাগিদেও অনেক সময় সে বস্তুজগৎ সম্বন্ধে নানারূপ তথ্যের সন্ধান করিয়াছে। যুগ যুগ ধরিয়া এই অনুসন্ধানের দ্বারা প্রকৃতি সম্বন্ধে মানুষ যে জ্ঞান সঞ্চয় করিয়াছে, তাহাই বিজ্ঞান।

প্রথমত প্রকৃতি সম্বন্ধে সমস্ত আবিষ্কৃত তথ্যকেই প্রকৃতি-বিজ্ঞান বা পদার্থ-বিজ্ঞান বলা হইত। কিন্তু ক্রমশ মানুষের জ্ঞানের পরিধি ও বৈচিত্র্য এত বাড়িয়া যায় যে, ইহাকে বিভিন্ন শাখায় বিভক্ত করা প্রয়োজন হইয়া পড়ে। তাহার ফলে রসায়ন, প্রাণি-বিজ্ঞান, উদ্ভিদ-বিজ্ঞান প্রভৃতি শাখার সৃষ্টি হয় এবং বর্তমানে 'পদার্থবিদ্যা' বা পদার্থ-বিজ্ঞান (Physics) কথাটি একটি সীমাবদ্ধ অর্থে ব্যবহৃত হয়।

পদার্থ-বিজ্ঞান কি ?

জড় বা নির্জীব বস্তু লইয়া যে জগৎ তাহার নাম জড়জগৎ। জড়জগৎ **পদার্থ** (Matter) দ্বারা গঠিত ; এই জন্য পদার্থের আর এক নাম জড়। মেঘ-বৃষ্টি, ঝড় বিদ্যুৎ, রামধনু ও সূর্যাস্তের রঙের খেলা প্রভৃতি কত ঘটনা জড়জগতে সর্বদা আমরা প্রত্যক্ষ করি। এই সকল ঘটনা পদার্থের উপর বিভিন্ন প্রাকৃতিক **শক্তির** (Energy) ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ার ফল। **পদার্থের উপর শক্তির ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়াকে পর্যবেক্ষণ করা এবং তাহা হইতে পদার্থ ও শক্তির স্বরূপ ও বিভিন্ন ধর্ম সম্বন্ধে জ্ঞান অর্জন করাই পদার্থ-বিজ্ঞানের কার্য।**

পদার্থ (Matter) **:** বিশ্ব-প্রকৃতিতে যাহা কিছু ইন্দ্রিয় দ্বারা (প্রধানত দর্শনেন্দ্রিয় ও স্পর্শেন্দ্রিয় দ্বারা) আমরা অনুভব করিতে পারি, তাহাকে পদার্থ বলে। পদার্থের একটি ধর্ম হইল এই যে পদার্থের ব্যাপ্তি আছে অর্থাৎ পদার্থ সর্বদা কিছুটা স্থান জুড়িয়া থাকে। উদাহরণস্বরূপ—জল, মাটি, বায়ু, পাথর, কাঠ, লোহা ইহারা পদার্থ। ইহাদের মধ্যে বায়ু ব্যতীত সবগুলিকে আমরা দেখিতে পাই এবং স্পর্শ করিতে পারি। বায়ুকে দেখিতে পাই না, কিন্তু ইহার স্পর্শ অনুভব করিতে পারি। আবার ইহারা প্রত্যেকেই কিছুটা স্থান জুড়িয়া থাকে।

পদার্থের তিন অবস্থা : পদার্থকে আমরা তিনটি বিভিন্ন অবস্থায় দেখিতে পাই ; **কঠিন, তরল** এবং **বায়বীয়**। মাটি, পাথর, কাঠ ইহারা কঠিন ; জল, দুধ, তেল প্রভৃতি তরল এবং বায়ু বাষ্প প্রভৃতি বায়বীয় পদার্থ।

বস্তু (Body) **:** যাহা কিছু পদার্থ দ্বারা গঠিত তাহাকে বস্তু বলে। যেমন বই, টেবিল, ঘর, বাড়ি, পাহাড়, গ্রহ, নক্ষত্র প্রভৃতি। এমন কি পদার্থবিদ্যার

বিচারে মানুষ, পশু, পাখী, গাছপালা—ইহারাও বস্তু। ইহাদের জীবন থাকিলেও পদার্থ-বিজ্ঞানে ইহাদের নির্জীব বস্তুর ন্যায় মনে করিতে হইবে।

শক্তি (Energy) : পদার্থ বা বস্তু আপনা হইতে কোনও কাজ করে না। **যাহা দ্বারা বস্তু কাজ করিবার সামর্থ্য অর্জন করে, তাহাকে বলে শক্তি।** রেলগাড়ির ইঞ্জিন একটি বস্তু। ইহা আপনা হইতেই চলিতে পারে না। বয়লারের বাষ্পের তাপশক্তি যখন ইহার যন্ত্রকে চলিবার শক্তি বা গতিশক্তি দান করে, তখনই ইহা চলিতে আরম্ভ করে।

বিশ্ব-প্রকৃতিতে পদার্থ ও শক্তি পরস্পর ঘনিষ্ঠভাবে মিশিয়া আছে। শক্তি ছাড়া পদার্থ অচল এবং পরিবর্তনহীন। পদার্থের মধ্যে শক্তি সক্রিয় হইলেই পদার্থের গতি ও অবস্থার পরিবর্তন হইয়া থাকে। পদার্থে তাপশক্তি প্রয়োগ করিলে উহার আয়তন ও উষ্ণতা বাড়ে, কঠিন পদার্থ তরল ও বায়বীয় পদার্থে রূপান্তরিত হয়। বিদ্যুৎশক্তি সরু তারের মধ্যে প্রবাহিত হইলে তার গরম হয় এবং আলোক দেয়। আবার শক্তির অস্তিত্বও আমরা পদার্থের মাধ্যমেই অনুভব করি। আলোক বা তাপশক্তি কোন বস্তুকে আলোকিত বা উত্তপ্ত করিলেই আমরা ঐ দুই শক্তির বিকাশ দেখিতে পাই।

শক্তির বিভিন্ন রূপ (Different Forms of Energy) : এই সকল বিভিন্নরূপে শক্তিকে আমরা দেখিতে পাই : **যান্ত্রিক শক্তি** (Mechanical Energy), **তাপশক্তি** (Heat Energy), **আলোক শক্তি** (Light Energy), **বিদ্যুৎশক্তি** (Electrical Energy), **চুম্বকশক্তি** (Magnetic Energy), **শব্দশক্তি** (Sound Energy) **রাসায়নিক শক্তি** (Chemical Energy)।

শক্তির রূপান্তর (Transformation of Energy) : বিভিন্ন প্রকারের শক্তির পরস্পরের সহিত সম্বন্ধ আছে এবং শক্তি সর্বদাই এক রূপ হইতে অন্য রূপে রূপান্তরিত হইতেছে। নানারূপ প্রাকৃতিক ঘটনাকে শক্তির রূপান্তর প্রক্রিয়াও বলা যায়।

ইঞ্জিনের তাপশক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া গাড়িকে সচল করে। বিদ্যুৎশক্তি ইলেকট্রিক বাল্‌বের সরু তারের (বা ফিলামেন্টের) মধ্যে প্রবাহিত হইয়া তাপ ও আলোক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। টর্চের 'ব্যাটারি'তে রাসায়নিক শক্তি বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। দুইখানি হাত পরস্পর ঘষিলে মাংসপেশীর যান্ত্রিক শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া হাতকে গরম করে। এইরূপ শক্তির রূপান্তরের অসংখ্য উদাহরণ দেওয়া যাইতে পারে।

শক্তির নিত্যতা (Conservation of Energy) : শক্তি এক রূপ হইতে অন্য রূপে রূপান্তরিত হইবার সময়ে মোট শক্তির পরিমাণের কোনও হ্রাসবৃদ্ধি হয় না। রূপান্তরের পূর্বে মোট শক্তি যাহা ছিল, পরেও তাহাই থাকে। প্রকৃতপক্ষে শক্তিকে কোন প্রক্রিয়া দ্বারা সৃষ্টি করা বা ধ্বংস করা যায় না। ইহাকে শক্তির নিত্যতা বলে।

পদার্থবিদ্যার বিভিন্ন বিভাগ

পদার্থের উপর বিভিন্ন প্রকারের শক্তির ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া অনুসারে পদার্থ-বিজ্ঞানকে প্রধানত এই কয়টি বিভাগে ভাগ করা হয়: (১) **তাপ-বিজ্ঞান** (heat), (২) **আলোক-বিজ্ঞান** (Light), (৩) **বিদ্যুৎ বা তড়িৎ-বিজ্ঞান** (Electricity), (৪) **চুম্বক-তত্ত্ব** (Magnetism) ও (৫) **শব্দ-বিজ্ঞান** (Sound)। তাহা ছাড়া পদার্থের এমন কতকগুলি ধর্ম আছে যাহারা বিশেষভাবে ইহাদের কোনও শ্রেণীর মধ্যে পড়ে না, সেইগুলিকে **সাধারণ পদার্থবিদ্যা** (General physics) বিভাগের অন্তর্ভুক্ত করা হয়।

পদার্থবিদ্যা ও মানবসভ্যতা

পদার্থবিদ্যা মানবসভ্যতাকে গড়িয়া তুলিতে বিপুলভাবে সাহায্য করিয়াছে। রূপকথার আলাদীনের দৈত্য যেমন অসাধ্য সাধন করিত, পদার্থবিদ্যার সাহায্যে মানুষ বাষ্প, বিদ্যুৎ প্রভৃতি শক্তিকে সেইরূপ কাজে লাগাইয়াছে। রেলগাড়ি, বিমান, টেলিগ্রাম, টেলিফোন, বেতার, টেলিভিশন প্রভৃতি বর্তমান সভ্যতাকে ধারণ করিয়া রাখিয়াছে বলা যাইতে পারে। ইহাদের ছাড়া আমাদের এক মুহূর্ত চলে না। ইহারা দূরদেশে যাতায়াত ও যোগাযোগ ব্যবস্থা সহজ করিয়াছে এবং সারা পৃথিবীতে আমাদের আত্মীয়তার পরিধি বাড়াইয়াছে। চিকিৎসা জগতে অণুবীক্ষণ যন্ত্র, রঞ্জনরশ্মি প্রভৃতি অসংখ্য আবিষ্কার রোগনির্ণয় ও রোগযন্ত্রণা দূর করার কাজে ব্যবহৃত হইতেছে। আবার বিরাট বিশ্ব-প্রকৃতির যে সকল ঘটনা মানুষের কাছে রহস্যময় মনে হইত এবং মানুষ সেইজন্য নানা মনগড়া কল্পনার আশ্রয় লইত, ক্রমশ সে সকল ঘটনার প্রকৃত কারণ আবিষ্কার করিয়া পদার্থবিদ্যা আমাদের মনকে কুসংস্কারমুক্ত ও যুক্তিপরায়ণ করিতে সাহায্য করিতেছে।

অবশ্য পদার্থবিদ্যা পরমাণু বোমা, হাইড্রোজেন বোমা প্রভৃতি ধ্বংসাস্ত্র আবিষ্কারেও সাহায্য করিয়াছে। কিন্তু মানুষের শুভবুদ্ধিই শেষ পর্যন্ত জয়ী হইবে আশা করা যায় এবং পরমাণুর ভিতরে মানুষ যে বিপুল শক্তির সন্ধান পাইয়াছে, তাহা গঠনমূলক ও কল্যাণকর কার্যে ব্যবহৃত হইয়া মানবসভ্যতাকে বহু দূর অগ্রসর করিয়া দিবে। মানুষের উদ্ভাবিত কৃত্রিম উপগ্রহে চড়িয়া মহাকাশচারীরা পৃথিবী প্রদক্ষিণ করিতেছেন। এই সকল উপগ্রহের নির্মাণকার্যে পদার্থবিদ্যাই প্রধান অংশ গ্রহণ করিয়াছে। চন্দ্র ও গ্রহান্তরে যাত্রার দিন আর বোধ হয় বেশী দূরে নাই। মোটের উপর মানবসভ্যতার অগ্রগতিতে পদার্থবিদ্যা যাহা করিয়াছে, ভবিষ্যতে তদপেক্ষাও বিরাট ভূমিকা সে গ্রহণ করিবে ইহা নিঃসংশয়ে বলা যাইতে পারে।

সারাংশ

পদার্থের উপর তাপ, বিদ্যুৎ প্রভৃতি শক্তির ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া পর্যবেক্ষণ করা পদার্থবিদ্যার কার্য। যাহা কিছু ইন্দ্রিয় দ্বারা (প্রধানত দর্শনেন্দ্রিয় ও

স্পর্শেন্দ্রিয় দ্বারা) অনুভব করা যায়, তাহাই **পদার্থ**। যেমন মাটি, জল, বায়ু, কাঠ প্রভৃতি।

যাহা পদার্থ দ্বারা গঠিত তাহাকে **বস্তু** (Body) বলে—যেমন বই, টেবিল, বাড়ি প্রভৃতি।

শক্তি (Energy): যাহা দ্বারা বস্তু কাজ করিবার সামর্থ্য অর্জন করে তাহাকে শক্তি বলে।

শক্তির বিভিন্ন রূপ: যান্ত্রিক শক্তি (Mechanical Energy), তাপ শক্তি (Heat Energy), আলোক শক্তি (Light Energy), বিদ্যুৎশক্তি (Electrical Energy), চুম্বকশক্তি (Magnetic Energy), শব্দশক্তি (Sound Energy), এবং রাসায়নিক শক্তি (Chemical Energy) এই সকল বিভিন্নরূপে শক্তি বিরাজ করে।

শক্তির রূপান্তর: নানাপ্রকার প্রাকৃতিক ক্রিয়ায় শক্তি একরূপ হইতে অন্যরূপে রূপান্তরিত হয়। যেমন, বৈদ্যুতিক বাতিতে বিদ্যুৎশক্তি আলোক ও তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

শক্তির নিত্যতা: কোনও প্রক্রিয়া দ্বারা শক্তি সৃষ্টি বা ধ্বংস করা যায় না; মোট শক্তির পরিমাণ সর্বদা একই থাকে।

পদার্থবিদ্যার বিভাগ: সাধারণ পদার্থবিদ্যা, তাপ-বিজ্ঞান, আলোক-বিজ্ঞান, বিদ্যুৎ-বিজ্ঞান, চুম্বক-তত্ত্ব ও শব্দ-বিজ্ঞান—এইগুলি পদার্থবিদ্যার বিভিন্ন বিভাগ।

পদার্থবিদ্যার ভূমিকা: পদার্থবিদ্যা মানবসভ্যতার অগ্রগতিতে বিরাট ভূমিকা গ্রহণ করিয়াছে। বাষ্প ও বিদ্যুৎ এবং কল্যাণমূলক কার্যে ব্যবহৃত আণবিক শক্তি, মনুষ্যসৃষ্ট কৃত্রিম গ্রহ-উপগ্রহ প্রভৃতি মানব-অধ্যুষিত পৃথিবীর বিরাট পরিবর্তন আনিতেছে।

অনুশীলনী

1. *Define matter, body and energy. What is Physics ?*

2. *Mention the different forms of energy. Give two examples explaining transformation of energy.*

সাধারণ পদার্থবিদ্যা

[GENERAL PHYSICS]

প্রথম অধ্যায়

বিভিন্ন পরিমাপ ও একক প্রণালী

পরিমাপের প্রয়োজনীয়তা: পরীক্ষাগারে পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণের সাহায্যে আমরা পদার্থের নানা ধর্ম সম্বন্ধে সঠিক জ্ঞান অর্জনের চেষ্টা করি অথবা কোনও আবিষ্কৃত তথ্যের সত্যতা প্রমাণ করি। কিন্তু এই সকল পরীক্ষা প্রধানত কতকগুলি সূক্ষ্ম পরিমাপ ক্রিয়া ছাড়া কিছুই নহে। যেমন আমরা জানি তাপদ্বারা বস্তুর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায়। কিন্তু এই বৃদ্ধি এতই কম যে উহার পরিমাপ করা তো দূরের কথা, আদৌ যে বৃদ্ধি হইয়াছে তাহাও চোখে দেখিয়া সব সময়ে বুঝা যায় না। একটি পিতলের রডকে গরম বাষ্পে কিছুক্ষণ রাখিলে উহার দৈর্ঘ্য বাড়িল কি না চোখে দেখিয়া বুঝা যাইবে না কিন্তু উপযুক্ত যন্ত্রপাতির সাহায্যে মাপজোখ করিলে কেবল যে 'দৈর্ঘ্য' বৃদ্ধি হইয়াছে জানা যাইবে তাহাই নয়, কতখানি বৃদ্ধি হইয়াছে তাহাও জানা যাইবে। আবার দুইটি পাত্রে রাখা জলের মধ্যে কোন্‌টির জল বেশী গরম তাহা হাত ডুবাইয়া স্থির করিতে গেলে প্রায়ই ভুল হয়। কিন্তু থার্মোমিটার ডুবাইয়া দেখিলে কোন্‌টির জল বেশী গরম কেবল তাহাই নয়, কত ডিগ্রী বেশী গরম তাহাও নির্ভুলভাবে জানা যায়। এই জন্য সূক্ষ্মমাপের প্রণালী এবং উপযুক্ত যন্ত্রপাতি ও সরঞ্জাম সম্বন্ধে প্রথমেই জানা প্রয়োজন।

প্রাকৃতিক রাশি বা ভৌতরাশি: যাহার পরিমাপ করা যায় তাহাকে পরিমেয় বা রাশি বলে, যেমন দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্রফল, দূরত্ব প্রভৃতি। রাশি কাহাকে বলে একটি উদাহরণ দিলে বুঝা যাইবে। আমরা চলিত কথায় বলি কাপড় মাপা, জমি মাপা, দুগ্ধ মাপা প্রভৃতি। কিন্তু এই সকল ক্ষেত্রে প্রকৃতপক্ষে পরিমেয় কি? কাপড় মাপার অর্থ—কাপড়ের দৈর্ঘ্য মাপা। জমি মাপা বলিতে জমির 'ক্ষেত্রফল' মাপা বুঝায়। আবার ঘটির সাহায্যে দুধ মাপা বলিতে দুধের 'আয়তন' মাপা বুঝায়। এই সকল উদাহরণে পরিমেয় কাপড়, জমি বা দুধ নহে; পরিমেয় হইল দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্রফল ও আয়তন। সুতরাং কাপড়, জমি বা দুধ ইহারা রাশি নহে; দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্রফল, আয়তন উহারাই রাশি। পদার্থবিদ্যার অন্তর্গত যে কোনও রাশিকে প্রাকৃতিক বা ভৌতরাশি (Physical quantity) বলে। যেমন বেগ (Velocity), দ্রুতি (Speed), বল (Force), চাপ (Pressure), তাপ (Heat), আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (Wave length of light), চুম্বকের মেরুশক্তি (Magnetic pole strength), বিদ্যুৎ-প্রবাহ (Electric current) ইত্যাদি। কিন্তু এই সকল রাশির প্রত্যেকটিকেই তিনটি প্রধান বা **মৌলিক রাশির** (Fundamental Quantities) সাহায্যে প্রকাশ করা সম্ভব। মৌলিক রাশি তিনটি হইল **দৈর্ঘ্য** (Length), **সময়** (Time) এবং **ভর** (Mass)। উদাহরণস্বরূপ কোনও তলের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থকে গুণ করিলে তলের ক্ষেত্রফল পাওয়া যায়, এখানে দৈর্ঘ্য ও প্রস্থকে তলের দুই দিকের দৈর্ঘ্য বলা যায়। আবার একখানি গাড়ি t

সেকেণ্ডে s গজ চলিলে প্রতি সেকেণ্ডে $\frac{s}{t}$ গজ চলিবে, ইহাকে ঐ গাড়ির দ্রুতি (Speed) বলা হয়। অতএব দূরত্ব বা দৈর্ঘ্যকে সময় দ্বারা ভাগ করিলে 'দ্রুতি' রাশিটি পাওয়া যায়।

[দৈর্ঘ্য ও সময় কাহাকে বলে আমরা জানি। 'ভর' কথাটি প্রথম শিক্ষার্থীদের কাছে নূতন। **কোনও বস্তুর ভর বলিতে ঐ বস্তুর মধ্যে কতটা পদার্থ আছে তাহা বুঝায়** ভর ওজন নহে, যদিও যাহার ভর বেশী তাহার ওজনও বেশী। একটি ছোট গাড়ি অপেক্ষা একটি বড় গাড়িকে টানিয়া লইতে বেশী জোর লাগে, কারণ বড় গাড়িটির ভর বেশী। ভর ও ওজনের পার্থক্য সম্বন্ধে পরে বিস্তৃত আলোচনা করা হইবে।]

একক (Unit)ঃ কোনও রাশিকে মাপিতে হইলে এককের প্রয়োজন। একক কথার অর্থ 'মাপকাঠি'। মনে করা যাক আমাকে একটি শালের খুঁটির দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে। আমি একটি কঞ্চিকে ঐ খুঁটির উপর বারে বারে ফেলিয়া খুঁটিটি কঞ্চিটির তুলনায় কত বড় তাহা জানিতে পারি। এক্ষেত্রে কঞ্চিটির দৈর্ঘ্যই আমার একক হইল। কিন্তু যে যেমন ইচ্ছা একক ব্যবহার করিলে, নানাপ্রকার বিশৃঙ্খলা ও অসুবিধা হইতে পারে। সেইজন্য প্রত্যেক রাশিকে মাপিবার জন্য একটি নির্দিষ্ট একক স্থির করিয়া সর্বত্র তাহারই প্রচলন করা হয়। পূর্বে পৃথিবীর বিভিন্ন দেশে বিভিন্ন একক প্রণালী প্রচলিত ছিল। এখনও বহুদেশে সেই সকল একক কমবেশী প্রচলিত আছে। কিন্তু বর্তমান যুগে বিভিন্ন দেশের মধ্যে যোগাযোগ বৃদ্ধি পাওয়ায়, বিশেষত বিজ্ঞানজগতে একই প্রকারের একক প্রণালীর ব্যবহার অপরিহার্য হওয়ায় পৃথিবীর প্রায় সর্বত্র দুইটি সাধারণ একক প্রণালী গৃহীত হইয়াছে যথা: **1. সি. জি. এস. বা দশমিক একক প্রণালী (C. G. S. or Decimal System of Units)** এবং **2. এফ. পি. এস. একক প্রণালী (F. P. S. System of Units)**।

সি. জি. এস. একক প্রণালী

সি. জি. এস. একক প্রণালীতে তিনটি মৌলিক রাশির একক এইরূপ: **দৈর্ঘ্যের** (Length) একক—**সেণ্টিমিটার** (Centimetre); **ভর** (Mass)-এর একক—**গ্রাম** (Gram); **কালের** (Time) একক—**সেকেণ্ড** (Second)।

Centimetre, Gram এবং Second এই তিনটি শব্দের প্রথম অক্ষরগুলি C, G এবং S-কে লইয়া C. G. S. প্রণালীর নামকরণ হইয়াছে।

সি. জি. এস. প্রণালীর উৎপত্তি ঃ মিটার ও সেণ্টিমিটার

সারা পৃথিবীতে একটি একক প্রণালীর প্রবর্তনের উদ্দেশ্যে ফরাসী বিপ্লবের পরে ফরাসী দেশে ওজন ও অন্যান্য পরিমাপ সম্বন্ধীয় আন্তর্জাতিক সংস্থা (International Bureau of Weights and Measures) নামক একটি সমিতি গঠিত হয়। এই সংস্থার সদস্যগণ নানাপ্রকার একক স্থির করিয়া দেন।

ভূ-বিষুবরেখা হইতে উত্তর মেরু পর্যন্ত ভূ-পৃষ্ঠের কোনও দ্রাঘিমা ধরিয়া চলিয়া গেলে যতখানি দূরত্ব যাওয়া হয়, তাহার এক কোটি ভাগের এক ভাগকে এক মিটার (Metre) দৈর্ঘ্য বলা হইবে স্থির হয়। তদনুসারে প্লাটিনাম-ইরিডিয়াম মিশ্রধাতুর একটি দণ্ড প্রস্তুত করিয়া তাহার উপর ঠিক এক মিটার ব্যবধানে দুইটি দাগ দেওয়া হয়। এই ধাতুদণ্ডটি প্যারিসের রক্ষণশালায় সযত্নে রক্ষিত আছে। ইহাকেই বলা হয় প্রামাণিক মিটার (Prototype Metre)*। এই দণ্ডের দুইটি দাগের মধ্যবর্তী দূরত্বের সমান দৈর্ঘ্য লইয়া অসংখ্য দণ্ড প্রস্তুত করা যাইতে পারে। এইরূপে প্রস্তুত দণ্ডকেই মিটার মাপকাঠি (Metre Scale) বলা হয়।

ক্ষুদ্র ও বৃহৎ দৈর্ঘ্যের উপযুক্ত একক

অপেক্ষাকৃত বৃহৎ দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য ডেকা, হেক্টো প্রভৃতি শব্দাংশ 'মিটার'-এর পূর্বে যোগ করা হয়।

ডেকা (Deka) শব্দাংশের অর্থ 10 গুণ
হেক্টো (Hekto) " " 100 "
কিলো (Kilo) " " 1000 "

সুতরাং 1 ডেকামিটার (Dekametre) = 10 মিটার
1 হেক্টোমিটার (Hektometre) = 100 "
1 কিলোমিটার (Kilometre) = 1000 "

আবার, ডেসি (Deci) শব্দাংশের অর্থ $\frac{1}{10}$ গুণ বা দশাংশ
সেন্টি (Centi) " " $\frac{1}{100}$ গুণ বা শতাংশ
মিলি (Milli) " " $\frac{1}{1000}$ গুণ বা সহস্রাংশ।

সুতরাং 1 ডেসিমিটার (Decimetre) = $\frac{1}{10}$ মিটার
1 সেন্টিমিটার (Centimetre) = $\frac{1}{100}$ "
1 মিলিমিটার (Millimetre) = $\frac{1}{1000}$ "

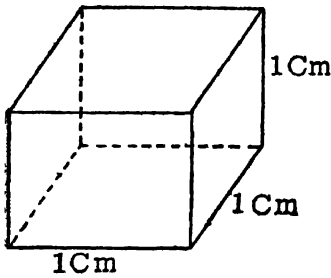
বিজ্ঞানের পরিমাপ ক্রিয়ায় **সেন্টিমিটার**কেই দৈর্ঘ্যের একক হিসাবে ব্যবহার করা হয়। সেন্টিমিটারকে সংক্ষেপে সে. মি. (c. m.) লেখা হইয়া থাকে। মিটারকে প্রামাণিক একক ধরা হয় বলিয়া ইহাকে মাত্রিক (Metric) প্রণালী বলা হয়। আবার দশের সাহায্যে গুণ ও ভাগ করিয়া ছোট বড় একক স্থির করা হয় বলিয়া ইহাকে দশমিক প্রণালীও (Decimal System) বলা হইয়া থাকে।

আয়তনের একক : সি. সি.

সি. জি. এস. প্রণালীতে এক **ঘন সেন্টিমিটার**কে আয়তনের একক ধরা হয়। লুডো খেলায় যে হাড়ের তৈয়ারী গুটি ব্যবহার করা হয় তাহা যদি এক

---

* পরবর্তীকালে জানা যায় ভূ-পৃষ্ঠের উপর এই দূরত্ব মাপায় সেই সময়ে কিছু ভুল হইয়াছিল। কিন্তু প্রথমে প্রস্তুত প্রামাণিক মিটারকেই মাপকাঠি রাখা হইয়াছে, তাহার আর পরিবর্তন করা হয় নাই।

সে. মি. দীর্ঘ, এক সে. মি. প্রস্থ এবং এক সে. মি. উচ্চ হয়, তাহা হইলে যতটা স্থান জুড়িয়া থাকে তাহাকেই বলা হয় এক ঘন-সেন্টিমিটার (Cubic Centimetre) বা সংক্ষেপে 1 সি. সি. (1 c. c.)।

১নং চিত্র :

দৈর্ঘ্য ও আয়তন মাপিবার যন্ত্র : দৈর্ঘ্য (প্রস্থ বা বেধ) মাপার জন্য সাধারণত টেপ্, বা চেইন্ (Tape or Chain), ডায়াগোনাল স্কেল (Diagonal Scale), ভার্নিয়ার স্কেল (Vernier Scale) বা স্লাইড ক্যালিপার্স (Slide Calipers), স্ক্রু-গজ বা মাইক্রোমিটার (Screw Gauge or Micrometre), স্ফেরোমিটার (Spherometre) প্রভৃতি যন্ত্র ব্যবহৃত হয়।

নির্দিষ্ট জ্যামিতিক আকারের কঠিন বস্তুর আয়তন পূর্বোক্ত যন্ত্রগুলির সাহায্যেই পাওয়া যাইতে পারে। তরল পদার্থের আয়তন মাপার জন্য মেজারিং সিলিণ্ডার (Measuring Cylinder) ব্যবহার করা হয়।

ভর-এর একক : গ্রাম

ওজন ও অন্যান্য পরিমাপ সংক্রান্ত আন্তর্জাতিক সংস্থার সংজ্ঞা অনুসারে, **4° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় এক ঘন-সেণ্টিমিটার আয়তনের বিশুদ্ধ জলের ভরকে বলা হয় এক গ্রাম**। এক হাজার গ্রাম ভর-বিশিষ্ট একটি প্লাটিনাম-ইরিডিয়াম মিশ্রধাতুর সিলিণ্ডার (Cylinder) প্রস্তুত করিয়া প্যারিসের নিকট আন্তর্জাতিক ওজন ও পরিমাপ সংস্থার রক্ষণশালায় সযত্নে রক্ষিত আছে। ইহার নাম আন্তর্জাতিক প্রামাণিক কিলোগ্রাম (International Prototype Kilogram)।

দৈর্ঘ্যের ন্যায় ভর-এর ক্ষেত্রেও :

1 ডেকা গ্রাম =	10 গ্রাম	1 ডেসি গ্রাম =	$\frac{1}{10}$ গ্রাম
1 হেক্টো ,, =	100 ,,	1 সেণ্টি ,, =	$\frac{1}{100}$,,
1 কিলো ,, =	1000 ,,	1 মিলি ,, =	$\frac{1}{1000}$,,

সাধারণ তুলার সাহায্যে ভর মাপা হইয়া থাকে।

সময়ের একক : সেকেণ্ড

একটি গড় সৌর-দিবসের * (Mean Solar Day) $\frac{1}{86400}$ অংশকে এক সেকেণ্ড বলা হয়। এক দিনকে 24 ঘণ্টা এবং প্রতি ঘণ্টাকে 60 × 60 (= 3600) সেকেণ্ডে ভাগ করা হয়। অতএব এক দিনে মোট 24 × 3600 বা 86400 সেকেণ্ড। সাধারণ ঘড়ি ও স্টপ ওয়াচ (Stop-watch)-এর সাহায্যে সময় মাপা হইয়া হইয়া থাকে।

* সূর্য আকাশের মধ্যরেখাকে (Celestial Meridian) ঠিক পর পর দুইবার অতিক্রম করিবার মধ্যবর্তী কালের ব্যবধানকে এক সৌর-দিবস বলে। সারা বৎসরে এই দিবসের কাল পরিমাণে কিছু তারতম্য হয়। এক বৎসরের সমস্ত দিবসকালের গড় সময়কে গড় সৌর-দিবস বলে।

এফ. পি. এস. একক প্রণালী

এফ. পি. এস. প্রণালীতে :

দৈর্ঘ্যের একক = **ফুট** (Foot)
ভর-এর „ = **পাউণ্ড** (Pound)
সময়ের „ = **সেকেণ্ড** (Second)

Foot, Pound এবং Second এই তিনটি ইংরেজী শব্দের প্রথম অক্ষর F, P এবং S লইয়া F. P. S. প্রণালীর নামকরণ হইয়াছে।

দৈর্ঘ্যের একক : ফুট

ওয়েস্টমিনস্টারে একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের ব্রোঞ্জ মিশ্রধাতুনির্মিত দণ্ড রক্ষিত আছে। ইহাকে প্রামাণিক গজ (Prototype Yard) বলা হয়। ইহার দৈর্ঘ্যের এক-তৃতীয়াংশকে এক ফুট ধরা হয়।

ভর-এর একক : পাউণ্ড

এফ. পি. এস. প্রণালীতে ভর-এর একক **পাউণ্ড**। ওয়েস্টমিনস্টারে একটি প্রামাণিক পাউণ্ডও রক্ষিত আছে।

সময়ের একক : সেকেণ্ড

এফ. পি. এস. প্রণালীতেও সময়ের একক **সেকেণ্ড**। ইহা সি. জি. এস. প্রণালীরও একক।

দুইটি প্রণালীর সম্বন্ধ

নিম্নোক্ত তালিকা হইতে উভয় প্রণালীর সম্বন্ধ এবং এক প্রণালী হইতে অপর প্রণালীর পরিবর্তন-ক্রিয়ার সূত্র জানা যাইবে।

দৈর্ঘ্য : 1 মিটার = 39·37 ইঞ্চি
1 ইঞ্চি = 2·54 সে. মি.
1 ফুট = 30·48 সে. মি.
1 কিলোমিটার = 0·6214 মাইল = প্রায় $\frac{5}{8}$ মাইল।

ভর : 1 পাউণ্ড = 453·6 গ্রাম
1 কিলোগ্রাম = 2·205 পাউণ্ড।

সি. জি. এস. প্রণালীর সুবিধা

সি. জি. এস. বা দশমিক প্রণালীতে দশমিক বিন্দুর ব্যবহারের দ্বারা রাশি-লিখন ও যোগবিয়োগ প্রভৃতি প্রক্রিয়ার অনেক সুবিধা হয়। নিম্নের কয়েকটি উদাহরণ হইতে বিষয়টি বুঝা যাইবে। যেমন—

(i) 1 মিটার = 100 সে. মি.

∴ 5 মিটার 3 সে. মি. = 5 × 100 সে. মি. + 3 সে. মি. = 503 সে. মি.

আবার (ii) 1203 সে. মি. = 1200 সে. মি. + 3 সে. মি.
= 12 মি. 3 সে. মি.

দশমিক বিন্দুর প্রয়োগ

আমরা জানি, $\frac{1}{10}=\cdot1$; $\frac{1}{100}=\cdot01$; $\frac{1}{1000}=\cdot001$ ইত্যাদি

আবার $\frac{515}{10}=51\cdot5$; $\frac{2134}{100}=21\cdot34$

$\frac{723\cdot5}{10}=72\cdot35$; $\frac{213\cdot4}{100}=2\cdot134$;

$21\cdot35\times10=213\cdot5$; $1\cdot346\times100=134\cdot6$

অর্থাৎ কোনও রাশিকে 10, 100, 1000 প্রভৃতি দ্বারা ভাগ করিলে দশমিক বিন্দু যথাক্রমে 1, 2, 3 প্রভৃতি ঘর বাম দিকে স্থানান্তরিত হয়। আবার 10, 100, 1000 প্রভৃতি গুণ করিলে দশমিক বিন্দু যথাক্রমে 1, 2, 3 প্রভৃতি ঘর ডান দিকে স্থানান্তরিত হয়। এই সকল নিয়মের সাহায্যে দশমিক প্রণালীতে কোনও রাশিকে সহজে প্রকাশ করা যায়। যেমন,

(i) 2 সে. মি. 7 মি. মি. $=2$ সে. মি. $+\frac{7}{10}$ সে. মি.
$=(2+\cdot7)$ সে. মি. $=2\cdot7$ সে. মি.

(ii) 5 গ্রাম 16 মিলিগ্রাম $=5$ গ্রাম $+\frac{16}{1000}$ গ্রাম $=5$ গ্রাম $+\cdot016$ গ্রাম
$=5\cdot016$ গ্রাম

আবার (iii) $723\cdot5$ মিলিমিটার $=\frac{723\cdot5}{10}$ সে. মি $=72\cdot35$ সে. মি.

(iv) $1\cdot346$ মিটার $=1\cdot346\times100$ সে. মি. $=134\cdot6$ সে. মি.

উদাহরণ 1 : $23\cdot56$ মিটার, $21\cdot3$ সে. মি., 712 মি. মি. এবং $31\cdot2$ ডেসিমিটার—এই দৈর্ঘ্যগুলির যোগফলকে সেন্টিমিটারে প্রকাশ কর।

$23\cdot56$ মিটার	$=23\cdot56\times100$ সে. মি.	$=$	$2356\cdot00$ সে. মি.
$22\cdot3$ সে. মি.	$=$	$=$	$21\cdot30$,,
712 মি. মি.	$=\frac{712}{10}$ সে. মি. ...	$=$	$71\cdot20$,,
$31\cdot2$ ডেসি. মি.	$=31\cdot2\times10$ সে. মি.	$=$	$312\cdot00$,,
	∴ সমষ্টি	$=$	$2760\cdot50$,,

উদাহরণ 2 : 100 মিটারকে ফুটে প্রকাশ কর।

1 মিটার $=39\cdot37$ ইঞ্চি

∴ 100 ,, $=100\times39\cdot37$ ইঞ্চি

$=3937$ ইঞ্চি

$=328\cdot08$ ফুট (প্রায়)

উদাহরণ 3 : 200 গ্রাম-কে এফ. পি. এস. এককে প্রকাশ কর।
এফ. পি. এস. প্রণালীতে ওজনের একক=1 পাউণ্ড=453·6 গ্রাম

∴ 453·6 গ্রাম=1 পাউণ্ড

∴ 200 „ $= \frac{1}{453 \cdot 6} \times 200$ পাউণ্ড

=·**441** পাউণ্ড (প্রায়)

উদাহরণ 4 : 25 পাউণ্ডকে সি. জি. এস. এককে প্রকাশ কর।

25 পাউণ্ড=25×453·6 গ্রাম=**11340** গ্রাম।

ঘনত্ব

[Density]

পরীক্ষা : সম-আয়তনের দুইটি বস্তুর মধ্যে একটি অপরটি অপেক্ষা ভারী হইলে, নিশ্চয় আমরা মনে করিতে পারি ভারী বস্তুটির মধ্যে পদার্থ (matter) বা বস্তুর উপাদান লঘু বস্তুটির পদার্থ অপেক্ষা বেশী পরিমাণে ঘনসন্নিবিষ্ট আছে। কোনও বস্তুর (Substance) মধ্যে উহার পদার্থ যেরূপ ঘনসন্নিবিষ্ট আছে তাহাকে উহার ঘনত্ব (Density) বলা যায়।

সংজ্ঞা : কোনও বস্তুর একক আয়তনের (Unit volume) **ভরকে উহার ঘনত্ব বা ঘনাঙ্ক** (Density) **বলে।**

উদাহরণ : একটি পাত্রের আয়তন 100 ঘন সেন্টিমিটার (সি. সি.)। 100 গ্রাম জল, 103 গ্রাম দুধ অথবা 96 গ্রাম তেল দ্বারা ঐ পাত্র ঠিক পূর্ণ হয়। জল, দুধ ও তেলের ঘনত্ব নির্ণয় কর।

$$\text{দুধের ঘনত্ব} = \frac{\text{দুধের ভর}}{\text{দুধের আয়তন}} = \frac{103 \text{ গ্রাম}}{100 \text{ সি. সি.}}$$

=প্রতি সি. সি.-তে 1·03 গ্রাম

বা 1·03 গ্রাম/সি. সি.

$$\text{তেলের ঘনত্ব} = \frac{\text{তেলের ভর}}{\text{তেলের আয়তন}} = \frac{96 \text{ গ্রাম}}{100 \text{ সি. সি.}}$$

=0·96 গ্রাম/সি. সি.

$$\text{এবং জলের ঘনত্ব} = \frac{\text{জলের ভর}}{\text{জলের আয়তন}} = \frac{100 \text{ গ্রাম}}{100 \text{ সি. সি.}}$$

=1 গ্রাম/সি. সি.

সুতরাং কোনও বস্তুর ভরকে উহার আয়তন দ্বারা ভাগ করিলেই ঐ বস্তুর ঘনত্ব পাওয়া যাইবে।

ঘনত্বের একক

সি. জি. এস. প্রণালীতে ঘনত্বের একক **গ্রাম/সি. সি.** লেখা হয় এবং 'গ্রাম-প্রতি সি. সি.-তে' এইরূপে পড়া হয়। এফ. পি. এস. প্রণালীতে ঘনত্বের একক **পাউণ্ড/ঘনফুট** লেখা হয় এবং 'পাউণ্ড প্রতি ঘনফুটে' এইভাবে পড়া হয়। যেমন, জলের ঘনত্ব = 62·5 পাউণ্ড/প্রতি ঘনফুট।

এতক্ষণ কয়েকটি তরল পদার্থ লইয়া যে আলোচনা করা হইল, কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রেও তাহা প্রযোজ্য। অর্থাৎ ইট, কাঠ, লোহা—ইহাদের ঘনত্ব একই নিয়মে নির্ণয় করা যায়।

কতকগুলি পদার্থের ঘনত্বের তালিকা নিম্নে দেওয়া হইল :

ঘনত্বের তালিকা

[সি. জি. এস. এককে]

পদার্থ	ঘনত্ব গ্রাম/সি. সি.	ঘনত্ব	পদার্থ গ্রাম/সি. সি.
জল	1·00	লোহা	7·86
দুধ	1·03	সোনা	19·32
কেরোসিন তেল	·8	রূপা	10·5
পারদ	13·59	কাঠ	0·7 হইতে 0·9
বরফ	0·92	শোলা	0·22 " 0·25
		মোম	0·96

ভেদ

[Variation]

অনেক সময়ে দুইটি রাশি পরস্পরের সহিত এমনভাবে সম্বন্ধযুক্ত হয় যে একটির যত গুণ বা যত ভাগ বাড়ে বা কমে অপরটিও ততগুণ বা ততভাগ বাড়ে বা কমে। এইরূপ ক্ষেত্রে রাশি দুইটিকে পরস্পরের সমানুপাতী বলে।

উদাহরণস্বরূপ, কোনও বস্তুর দর যত বৃদ্ধি পায়, নির্দিষ্ট ওজনের ঐ বস্তু ক্রয় করিতে তত বেশী টাকা লাগে। মনে করা যাক, চাউলের দর প্রতিমণ 20 টাকা আছে। এখন 5 মণ চাউল কিনিতে 100 টাকা লাগে। চাউলের দর বৃদ্ধি পাইয়া প্রতিমণ 30 টাকা হইলে, 5 মণের মূল্যেও 30 × 5 টাকা বা 150 টাকা হইবে। এখানে চাউলের দরবৃদ্ধির অনুপাত 20 : 30 বা 2 : 3 বা $\frac{2}{3}$; আবার 5 মণ চাউলের মোট মূল্যবৃদ্ধির অনুপাত 100 : 150 বা 2 : 3 বা $\frac{2}{3}$। সুতরাং বলা যায় ক্রেতব্য চাউলের পরিমাণ সমান থাকিলে প্রতিমণের দর ও মোট মূল্য সামানুপাতিক হারে বৃদ্ধি পায়। চাউলের দর (Rate)-কে R

অক্ষর দ্বারা, মোট মূল্য (Cost)-কে C এবং মোট চাউলের পরিমাণ (Quantity)-কে Q অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করিলে বলা যায় R ও C **সমানুপাতী**। ইহাকে গণিতশাস্ত্রে এইরূপে প্রকাশ করা হয় :

$R \propto C$, যখন Q ধ্রুবক

'$\propto$' চিহ্নকে অনুপাতের বা ভেদের চিহ্ন বলে। $R \propto C$ ইহাকে 'R, C-এর সমানুপাতী' বা 'R সমানুপাতী C' এইরূপে পড়া যায়।

এখন দুইটি রাশি X ও Y যদি সমানুপাতী হয়, তাহা হইলে $\frac{X}{Y}$ অনুপাতটি ধ্রুবক হইবে।

অর্থাৎ $\frac{X}{Y} = K$ হইবে, যখন K একটি ধ্রুবক।

$\therefore$ $X \propto Y$ হইলে $X = K.\, Y$ হইবে, যখন K একটি ধ্রুবক।

আর এক প্রকার উদাহরণ বলা যাক। একখানি গাড়ির দ্রুতি (speed) যতগুণ বাড়িবে কোনও নির্দিষ্ট দূরত্ব যাইতে উহার সময়ও তত গুণ কম লাগিবে। এখানে গাড়ির দ্রুতি ও প্রয়োজনীয় সময়কে পরস্পর **ব্যস্ত সমানুপাতী** (Inversely Proportional) বলা হয়। এক্ষেত্রে যদি গাড়ির দ্রুতি, সময় ও পথের দূরত্ব যথাক্রমে v, t এবং s অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হয়, তাহা হইলে গাণিতিক ভাষায় ইহাদের সম্বন্ধকে এইরূপে প্রকাশ করা যায় :

$$t \propto \frac{1}{v} \text{ যখন } s \text{ ধ্রুবক}$$

ইহাকে 't ও v ব্যস্ত সমানুপাতী' অথবা 't ব্যস্ত সমানুপাতী v' এইরূপে পড়া হয়।

অতএব x এবং y পরস্পর ব্যস্ত সমানুপাতী অর্থাৎ $x \propto \frac{1}{y}$ হইলে,

$$x = K\frac{1}{y} \text{ হইবে, যখন K একটি ধ্রুবক।}$$

যৌথ ভেদ

[Joint Variation]

যদি কোনও রাশি X অন্য দুইটি রাশি Y ও Z-এর সহিত এরূপভাবে পরিবর্তিত হয় যে, $x \propto y$, যখন z অপরিবর্তনীয় এবং $x \propto z$, যখন y অপরিবর্তনীয়, তাহা হইলে :

$$X \propto YZ$$

অর্থাৎ $X = K.\, YZ$, যখন K একটি ধ্রুবক।

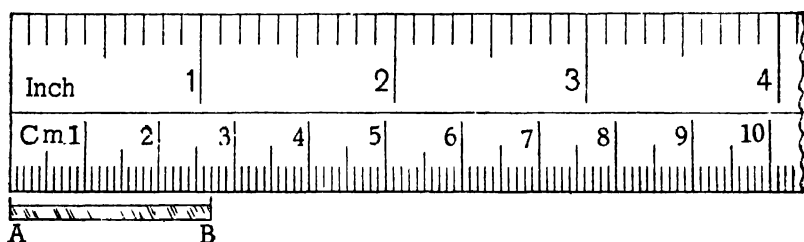
ভেদ সম্বন্ধে বিস্তৃত তথ্য উচ্চতর বীজগণিতের যে কোনও পুস্তকে পাওয়া যাইবে।

কয়েকটি প্রয়োজনীয় দৈর্ঘ্য পরিমাপক যন্ত্র

পদার্থ বিজ্ঞানে তিনটি মৌল রাশি হইল দৈর্ঘ্য, ভর এবং কাল। এই তিনটি পরিমেয়কে সূক্ষ্মভাবে মাপিবার উপযুক্ত কয়েকটি যন্ত্র সম্বন্ধে আলোচনা করা হইতেছে।

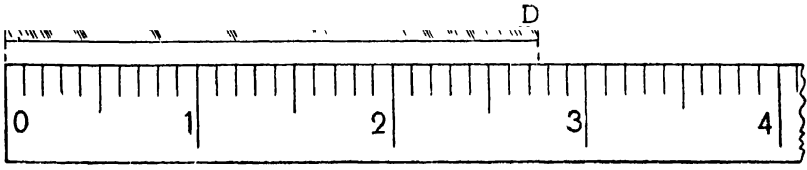
দৈর্ঘ্যের পরিমাপ

দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য সি. জি. এস. প্রণালীতে **মিটারস্কেল** (Metre Scale) এবং এফ. পি. এস. প্রণালীতে **ফুটস্কেল** (Foot Scale) ব্যবহার করা হয়। সাধারণত একই স্কেলের দুই পাশে যথাক্রমে সেন্টিমিটার ও ইঞ্চির দাগ কাটা থাকে। এইরূপ একটি স্কেলের চিত্র দেওয়া হইল।

Inch 1 2 3 4
Cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A B

২নং চিত্র : স্কেল

এই স্কেলে এক ইঞ্চি এবং এক সেন্টিমিটার ঘরকে দশটি সমান অংশে ভাগ করা হইয়াছে। সেন্টিমিটার স্কেলের ছোট ঘরগুলির প্রত্যেকটি $\frac{1}{10}$ সে. মি. বা 1 মিলিমিটার দীর্ঘ। এইরূপ স্কেলের সাহায্যে কোনও বস্তুর দৈর্ঘ্য মাপিতে হইলে নির্ণেয় দৈর্ঘ্যের পাশে স্কেলটি রাখিতে হয়। মনে করা যাক, স্কেলের পাশে অঙ্কিত AB রডটির দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে। রডটি (rod) A প্রান্ত সেন্টিমিটার স্কেলের আরম্ভ বা শূন্য দাগের সহিত মিলাইয়া ধরা হইল। এখন দেখা যাইতেছে অপর প্রান্ত B 2 সেন্টিমিটার ঘর ছাড়াইয়া পরবর্তী ঠিক 7 মিলিমিটার দাগের সহিত মিলিয়াছে। সুতরাং AB রডটির দৈর্ঘ্য 2 সে. মি. 7 মি. মি. বা 2·7 সে. মি. হইল।

আর একটি উদাহরণ লওয়া যাক। মনে করা যাক্ CD অপর একটি রড। স্কেলের পাশে ফেলিয়া দেখা যাইতেছে ইহার দৈর্ঘ্য 2·7 ইঞ্চি হইতে বেশী, কিন্তু 2·8 ইঞ্চি হইতে কম। এইরূপ ক্ষেত্রে দৈর্ঘ্যকে কত ধরিতে হইবে? সাধারণ স্কেলের সাহায্যে এই দৈর্ঘ্যকে খুব সূক্ষ্মভাবে মাপা সম্ভব নয়। কিন্তু 2·7 অপেক্ষা নির্ণেয় দৈর্ঘ্য যতটুকু বেশী হয় তাহা যদি একটি ছোট ঘরের অর্ধেকের কম হয়, তাহা হইলে সাধারণক্ষেত্রে ঐ অতিরিক্ত দৈর্ঘ্যকে উপেক্ষা করা যাইতে

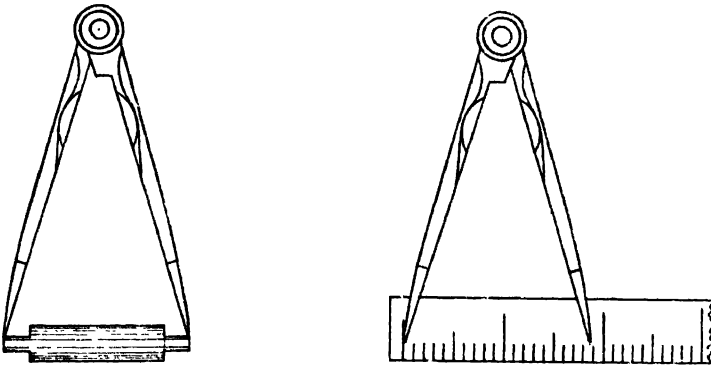
পারে। অর্থাৎ দৈর্ঘ্যকে 2·7 ইঞ্চি বলিলেই চলিতে পারে। কিন্তু যদি ঐ অতিরিক্ত দৈর্ঘ্য একটি ছোট ঘরের অর্ধাংশ অথবা তাহার বেশী হয় তাহা হইলে

৩নং চিত্র : দৈর্ঘ্য মাপা

উহার পরিবর্তে সম্পূর্ণ একটি ছোটঘর ধরা যাইতে পারে। সে ক্ষেত্রে মোট দৈর্ঘ্য 2·8 ইঞ্চি ধরিতে হইবে।

বিভিন্ন আকারের বস্তুর দৈর্ঘ্য-নির্ণয়

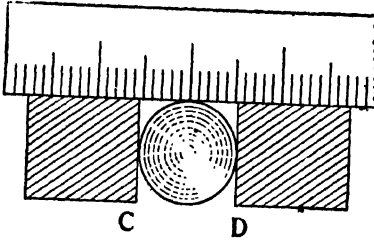
দণ্ড বা লাঠির আকৃতিবিশিষ্ট বস্তুকে মাপকাঠির পাশে ফেলিয়া উহার দৈর্ঘ্য মাপা যাইতে পারে। কিন্তু অন্য আকারের বস্তুর দৈর্ঘ্য এইরূপে মাপিতে অসুবিধা হইতে পারে। সেইজন্য এইরূপ দৈর্ঘ্য মাপার জন্য নানা প্রকার উপায় অবলম্বন করা যাইতে পারে। নিম্নে কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া হইল :

যেখানে স্কেলকে পাশে ফেলিয়া মাপায় অসুবিধা, সে ক্ষেত্রে একটি ডিভাইডার্স-এর সাহায্য লওয়া যাইতে পারে।

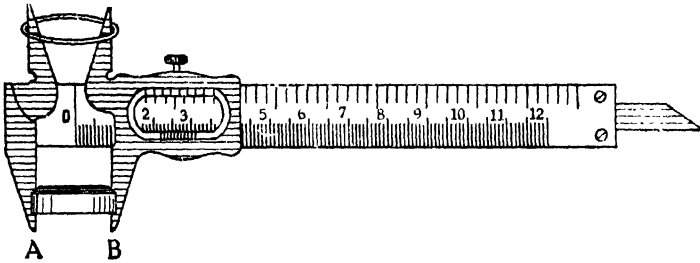
মনে করা যাক্, বেলুনাকৃতি বস্তুটির দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে। ডিভাইডার্সের দুইটি কাঁটার ব্যবধান এমন করা হইল যাহাতে কাঁটা দুইটি বস্তুটির দুই প্রান্ত ঠিক স্পর্শ করে। এখন কাঁটা দুইটির ব্যবধান যেন অপরিবর্তিত থাকে এইরূপ

৪নং ও ৫নং চিত্র : ডিভাইডার্স-এর ব্যবহার

সাবধানে ডিভাইডার্সটি ধরিয়া স্কেলের উপর রাখিতে হইবে। একটি কাঁটাকে 0 দাগের উপর রাখিলে অপর কাঁটার অবস্থান হইতে বস্তুটির দৈর্ঘ্য পাওয়া যাইবে।

গোলক বা সিলিণ্ডারের ব্যাসও একপ্রকারের দৈর্ঘ্য। ইহাদের মাপিতে

হইলে পাশে মাপকাঠি ফেলিয়া মাপা সম্ভব নয়। এইরূপ ক্ষেত্রে ৬নং চিত্রের ন্যায় দুইটি চতুষ্কোণ কাঠের টুকরা লওয়া যাইতে পারে। স্কেলটির পাশে গোলকটি (অথবা সিলিণ্ডারটিকে খাড়াভাবে) এরূপভাবে রাখা হয় যাহাতে ইহার পরিধি স্কেলকে স্পর্শ করে। এখন কাঠের খণ্ড দুইটি ৬নং চিত্রের মতো গোলকের দুই পাশে এরূপভাবে রাখা হয় যাহাতে উহাদের একটি তল স্কেলের সহিত সংলগ্ন থাকে এবং অপর তল গোলককে ঠিক স্পর্শ করে। এখন কাঠের টুকরা দুইটির C ও D প্রান্তের পাশে স্কেলের পাঠ (reading) লইলে গোলকটির ব্যাস পাওয়া যাইবে।

৬নং চিত্র : গোলকের ব্যাস মাপা

স্লাইড ক্যালিপার্স

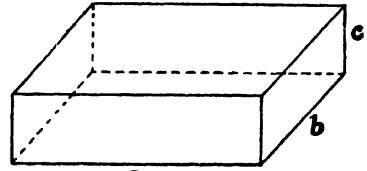
গোলকের ব্যাস মাপিবার যে প্রণালীর কথা বলা হইল স্লাইড ক্যালিপার্স (Slide Calipers) নামক যন্ত্রটির দ্বারা এই প্রণালীরই ব্যবহারে নানাপ্রকার দৈর্ঘ্য মাপা হয় ইহাতে একটি পুরু ইস্পাতের উপর স্কেলটি আঁকা আছে। কাঠের টুকরার বদলে দুইটি লোহার ফলক A এবং B ঐ স্কেলের সহিত সংযুক্ত। A ফলকটি স্কেলের সহিত দৃঢ়ভাবে সংযুক্ত। কিন্তু B ফলকটিকে স্কেলের সহিত সংলগ্ন অবস্থায় ঠেলিয়া লওয়া যায়। ইহার সহিত একটি ছোট স্কেল সংলগ্ন আছে। ছোট স্কেলটি মূলস্কেলের ঠিক সমান্তরালভাবে সরিয়া

৭নং চিত্র : স্লাইড ক্যালিপার্স

যায়। B ফলকটিকে ঠেলিয়া A-র সহিত সংলগ্ন করিলে দেখা যায় বড় স্কেলের 0-দাগটি ছোট স্কেলের প্রথম দাগটির সহিত ঠিক মিলিয়া যাইতেছে। এখন B-কে কিছুদূর সরাইয়া দিলে A ও B-এর মধ্যে কিছু ফাঁক হয়। মনে করা যাক্, B ফলকের সহিত সংলগ্ন ছোট স্কেলটির প্রথম দাগটি বড় স্কেলের 2·4 সে. মি. দাগের উপর আছে। তাহা হইলে নিশ্চয়ই A ও B ফলকের মধ্যে ফাঁকের দৈর্ঘ্য 2·4 সে. মি.। কারণ B-কে A হইতে যতটা অপসারিত করা হইয়াছে, ছোট স্কেলের শূন্য দাগও বড় স্কেলের উপর ঠিক ততটা

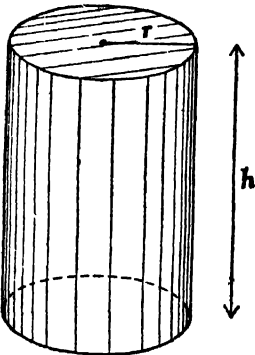
অপসারিত হইয়াছে। এখন A ও B ফলকের ফাঁকের মধ্যে যদি কোনও দৈর্ঘ্যকে ঠিক ধরা যায়, তাহা হইলে ঐ দৈর্ঘ্যও 2·4 সে. মি. হইবে।

স্লাইড ক্যালিপার্সের ব্যবহার

স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে বিভিন্ন সুনির্দিষ্ট আকারের বস্তুর দৈর্ঘ্য, কোনও তলের ক্ষেত্রফল অথবা আয়তন নির্ণয় করা যাইতে পারে।

প্রথম উদাহরণ: মনে করা যাক্, দিয়াশলাই-এর বাক্সের আকৃতির (Rectangular parallelopiped) একটি কাঠের টুকরার আয়তন (Volume) নির্ণয় করিতে হইবে। স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে ইহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও বেধ যথাক্রমে a, b, c-কে মাপা যাইতে পারে। মনে করা যাক্, দৈর্ঘ্য a নির্ণয় করিতে হইবে। কাঠের টুকরাটি দুইটি ফলকের মধ্যে এমন ভাবে ধরা হইল যাহাতে ইহার দৈর্ঘ্য স্কেলের সহিত সমান্তরাল হয়। এখন ছোট স্কেলের শূন্য দাগ বড় স্কেলের যে অবস্থানে আছে, তাহাই হইল নির্ণেয় দৈর্ঘ্য। এইরূপে প্রস্থ ও বেধ নির্ণয় করা যাইবে।

৮নং চিত্র

আমরা জানি Rectangular Parallelopiped-এর আয়তন = দৈর্ঘ্য × প্রস্থ × বেধ। অতএব নির্ণেয় আয়তন $V = a \times b \times c$.

দ্বিতীয় উদাহরণ: মনে করা যাক্, একটি সিলিণ্ডারের প্রস্থচ্ছেদের (cross-section) ক্ষেত্রফল এবং আয়তন নির্ণয় করিতে হইবে। সিলিণ্ডারটিকে প্রথমে স্লাইড ক্যালিপার্সের ফলকের মধ্যে এমনভাবে ধরা হইল যাহাতে সিলিণ্ডারের বক্রতলকে দুইটি ফলক দুই দিক হইতে ঠিক স্পর্শ করে। এখন B ফলকের অবস্থান হইতেই সিলিণ্ডারের বক্রতলের ব্যাস পাওয়া যাইবে। মনে করা যাক্, ব্যাস $= d$ সে. মি. হইল।

৯নং চিত্র : সিলিণ্ডারের ক্ষেত্রফল মাপা

অতএব, ক্ষেত্রফল $= \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$,

$\left[\pi = \frac{22}{7}\right.$(প্রায়) ; $r =$ প্রস্থচ্ছেদের ব্যাসার্ধ $\left.= \frac{d}{2}\right]$

এখন, সিলিণ্ডারের আয়তন = প্রান্ততলের বা প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল × সিলিণ্ডারের দৈর্ঘ্য,

যদি এই সিলিণ্ডারের দৈর্ঘ্য $= h$ সে. মি. হয় তাহা হইলে উহার

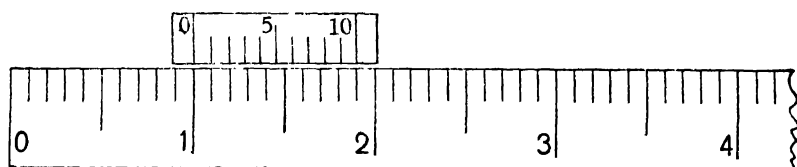
আয়তন $= \frac{\pi d^2}{4} \times h$.

(স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে h অনায়াসে মাপা যাইতে পারে।)

ভার্নিয়ার ও মাইক্রোমিটার স্ক্রু

[Vernier and Micro-metre Screw]

আমরা দেখিয়াছি সাধারণ স্কেলের সাহায্যে এক মিলিমিটার পর্যন্ত সূক্ষ্মভাবে মাপা যায়। কিন্তু মিলিমিটারের দশাংশ বা শতাংশ পর্যন্ত সূক্ষ্মভাবে মাপিতে হইলে অন্যপ্রকারের যন্ত্রের প্রয়োজন। ইহাদের ভার্নিয়ার স্কেল ও মাইক্রোমিটার স্ক্রু বলে।

ভার্নিয়ার স্কেল (Vernier Scale): ফরাসীদেশীয় গণিতবিদ্ পি. ভার্নিয়ার ইহার উদ্ভাবন করেন। ইহাতে মূল স্কেলের পাশে একটি ছোট ফলকের উপর ভার্নিয়ার স্কেলটি অঙ্কিত থাকে এবং মূল স্কেলের সহিত

১০নং চিত্র : ভার্নিয়ার স্কেল (প্রকৃত সে. মি. ঘর অপেক্ষা বড় করিয়া আঁকা)

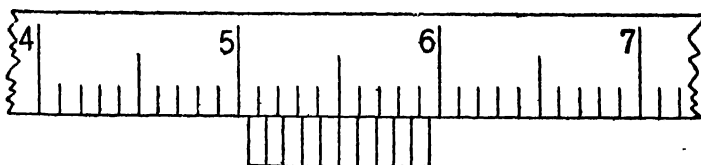
সমান্তরালভাবে ভার্নিয়ার স্কেলটি সরানো যায়। ভার্নিয়ার স্কেলে 10, 20 বা যতগুলি ইচ্ছা সমান দৈর্ঘ্যের ঘর থাকিতে পারে। সাধারণত 10 ঘরের ভার্নিয়ারই প্রচলিত। মূলস্কেলের ছোট ঘর ও ভার্নিয়ার স্কেলের ঘরগুলি সমান নহে। উপরের চিত্রে দেখা যাইতেছে মূলস্কেলের 9 ঘরের সহিত সমগ্র ভার্নিয়ার স্কেলের 10 ঘরের দৈর্ঘ্য সমান। সুতরাং

10 ভার্নিয়ার ঘর = 9 মূলস্কেল-ঘর

∴ 1 „ „ $= \frac{9}{10}$ „ „ $= \frac{9}{10}$ মি. মি.

= ·9 মি. মি.

∴ (1 মূলস্কেল-ঘর) — (1 ভার্নিয়ার ঘর) = (1 − ·9) মি. মি.

= ·1 মি. মি.

১১নং চিত্র : ভার্নিয়ার স্কেল (প্রকৃত সে. মি. ঘর অপেক্ষা বড় করিয়া আঁকা)

এখন ১১নং চিত্রে দেখা যাইতেছে ভার্নিয়ারের 0 দাগ মূলস্কেলের 5·0 সে. মি. দাগ অপেক্ষা কিছু দূরে আছে। কিন্তু ভার্নিয়ার ঘরগুলি মূলস্কেল-ঘর অপেক্ষা ·1 মি. মি. করিয়া কম হওয়ায় ভার্নিয়ারের 1 দাগ মূলস্কেলের 5·1 দাগ অপেক্ষা আর তত দূরে নয়, ·1 মি. মি. নিকটতর। এইরূপে ক্রমশ পিছাইয়া আসিয়া ভার্নিয়ারের 5 দাগ মূলস্কেলের একটি দাগের সহিত মিলিয়াছে। সুতরাং মূল

স্কেলের 5·0 দাগ হইতে ভার্নিয়ারের 0 দাগ পর্যন্ত দূরত্ব 5 × ·1 বা ·5 মি. মি. বা ·05 সে. মি. অতএব মিলিমিটারের ভগ্নাংশকে ভার্নিয়ার স্কেল দ্বারা মাপা সম্ভব হইল। এই উদাহরণের ·1 মি. মি.-কে **ভার্নিয়ারাঙ্ক** (**Vernier Constant**) বলে।

সুতরাং **ভার্নিয়ারাঙ্ক = (এক ছোট মূলস্কেল-ঘর)—(এক ভার্নিয়ার স্কেল-ঘর)**

মাপিবার নিয়ম : মনে করা যাক্, একটি দণ্ডের দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে। দণ্ডটির একপ্রান্ত মূলস্কেলের 0-এর সহিত মিলাইয়া দণ্ডটিকে মূলস্কেলের পাশে সমান্তরালভাবে রাখা হইল। তারপর ভার্নিয়ার স্কেলটি সরাইয়া দণ্ডটির অপর প্রান্তের সহিত ঠিক লাগাইয়া দেওয়া হইল। এই অবস্থায় ভার্নিয়ারের শূন্য দাগের ঠিক বামপার্শ্বে মূলস্কেলের যে দাগ তাহাই মূলস্কেলের পাঠ (Main Scale reading) এবং ভার্নিয়ার স্কেলের যে দাগ মূলস্কেলের কোনও দাগের সহিত ঠিক মিলিত হইবে তাহাই ভার্নিয়ারের পাঠ (Vernier reading)।

এখন, **মোট দৈর্ঘ্য = (মূলস্কেলের পাঠ)**
+ (ভার্নিয়ারের পাঠ × ভার্নিয়ারাঙ্ক)

∴ পূর্বের উদাহরণে নির্ণেয় দৈর্ঘ্য = (5·0 + 5 × ·01) সে. মি.
= 5.05 সে. মি.

ব্যবহার : স্লাইড ক্যালিপার্সের সহিত ভার্নিয়ার সংলগ্ন থাকে তাহা পূর্বেই বলা হইয়াছে। সুতরাং স্লাইড ক্যালিপার্স লইয়া কোনও বস্তুর দৈর্ঘ্য সূক্ষ্মভাবে মাপা যাইতে পারে।

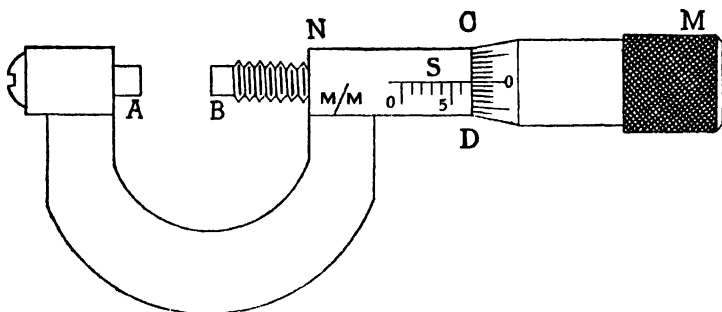
যান্ত্রিক ত্রুটি (Instrumental error) **:** স্লাইড ক্যালিপার্স-এর ভার্নিয়ার ফলকটি সরাইয়া স্থির ফলকটির সহিত মিলাইলে কোনও কোনও যন্ত্রে মূলস্কেলের ও ভার্নিয়ার স্কেলের 0 দাগ দুইটি মিলিয়া যায় না। ইহাকে যান্ত্রিক ত্রুটি বলে। ভার্নিয়ারের শূন্যদাগ মূলস্কেলের শূন্যদাগ হইতে কতটা দূরে আছে তাহা ভার্নিয়ার পড়িয়া মাপা যায়। এখন, ভার্নিয়ার শূন্যদাগ বামদিকে থাকিলে ঐ দূরত্ব প্রত্যেক দৈর্ঘ্যের সহিত যোগ করিতে হয় এবং ডানদিকে থাকিলে ঐ দূরত্ব বিয়োগ করিতে হয়। এইরূপে যান্ত্রিক ত্রুটি সত্ত্বেও স্লাইড ক্যালিপার্সকে ব্যবহার করা যাইতে পারে।

স্ক্রু-গজ বা মাইক্রোমিটার-স্ক্রু

মনে করা যাক, একটি কাচের পাতলা পাতের বেধ বা সরু তারের প্রস্থচ্ছেদের ব্যাস মাপিতে হইবে। এক্ষেত্রে পরিমেয় দৈর্ঘ্য এক মিলিমিটারেরও ক্ষুদ্র ভগ্নাংশ হইতে পারে। সুতরাং, এইজন্য এক মিলিমিটারের শতাংশ পর্যন্ত মাপিবার যন্ত্রের প্রয়োজন। স্ক্রু-গজ (Screw Gauge) এইরূপ একটি যন্ত্র।

বর্ণনা : একটি অর্ধ বৃত্তাকার ফলকের দুই পার্শ্বে A ও B দুইটি ছোট লৌহের রড। A দৃঢ় সংবদ্ধ, কিন্তু B রডটি স্ক্রু-এর মতো প্যাঁচ-কাটা এবং CM

ড্রামটি ঘুরাইয়া B-কে সরানো যায়। ড্রামটি ঘুরাইলে A ও B যখন স্পর্শ করে তখন ড্রাম-এর CD প্রান্ত রৈখিক-স্কেল S-এর O দাগকে স্পর্শ করে। রৈখিক-স্কেলটি মিলিমিটার দাগে চিহ্নিত এবং B রডের সহিত সংলগ্ন স্ক্রুটি এমনভাবে

১২নং চিত্র : স্ক্রু-গজ

প্রস্তুত যাহাতে স্ক্রুকে সম্পূর্ণ এক পাক ঘুরাইলে স্ক্রুটি মূলস্কেল বা রৈখিক-স্কেলের উপর ঠিক এক মিলিমিটার পরিমাণ সরিয়া যায়। অর্থাৎ B প্রান্ত A প্রান্তের দিকে এক মিলিমিটার অগ্রসর হয় এবং CD প্রান্ত মূলস্কেলের ঠিক একটি ঘরকে ঢাকিয়া ফেলে। অথবা B প্রান্ত A প্রান্ত হইতে এক মিলিমিটার সরিয়া যায় এবং মূলস্কেলের এক ঘর খুলিয়া যায়। ড্রামটির CD অংশের বৃত্তাকার প্রান্তকে 100 সমান অংশে ভাগ করিয়া সেখানেও একটি স্কেল অঙ্কিত আছে।

ইহা ছাড়া মূলস্কেলের উপর আড়াআড়িভাবে একটি দাগ কাটা আছে। ইহাকে বলে রেফারেন্স লাইন (Reference Line) আমরা ইহাকে প্রারম্ভিক দাগ বলিতে পারি। যখন A ও B পরস্পরকে স্পর্শ করে এবং ড্রামের CD প্রান্ত মূলস্কেলের শূন্যদাগের উপর আসিয়া পড়ে, তখন বৃত্তাকার স্কেলের শূন্যদাগ ঠিক রেফারেন্স লাইনের সহিত মিলিত হয়। ড্রামটিকে ঘুরাইলে দেখা যায় প্রত্যেক বার যখন CD প্রান্ত মূলস্কেলের একটি দাগের উপর আসিয়া পড়ে, বৃত্তাকার স্কেলের শূন্যদাগও তখন ঠিক প্রারম্ভিক দাগের সহিত মিলিত হয়।

লঘিষ্ঠ মাপ (Least Count) : এখন বুঝা যাইতেছে, ড্রামটিকে বৃত্তাকার স্কেলের মাত্র এক ঘর ঘুরাইলে B প্রান্ত এক মিলিমিটারের $\frac{1}{100}$ অংশ বা ·01 মিলিমিটার পরিমাণ সরিয়া যায়। ইহাকে যন্ত্রটির **লঘিষ্ঠ মাপ** (Least Count) বলে।

পিচ (Pitch) : স্ক্রুটি সম্পূর্ণ এক পাক ঘুরাইলে উহা রৈখিক-স্কেলের উপর যতটা সরিয়া যায় তাহাকে যন্ত্রটির পিচ বলে।

অতএব কোনও স্ক্রু-গজের লঘিষ্ঠ মাপ

$$= \frac{\text{উহার পিচ}}{\text{বৃত্তাকার স্কেলের মোট ঘরের সংখ্যা}}$$

$$= (\text{সাধারণত})\ \frac{1 \text{ মি. মি.}}{100} = \cdot 01 \text{ মি. মি.} = \cdot 001 \text{ সে. মি.}$$

যান্ত্রিক ত্রুটি (Instrumental error) **:** স্ক্রু-গজের ড্রামকে ঘুরাইয়া A ও B প্রান্তদ্বয় সংলগ্ন করিলে বৃত্তাকার স্কেলের শূন্যদাগ রেফারেন্স লাইনের সহিত মিলিয়া যাওয়া উচিত। যদি এইরূপে না মিলে তাহা হইলে স্ক্রু-গজটির যান্ত্রিক ত্রুটি আছে বুঝিতে হইবে এবং ত্রুটির পরিমাণ বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ হইতেই পাওয়া যাইবে। যদি শূন্যদাগ রেফারেন্স লাইনে আসিবার পূর্বেই A ও B পরস্পরকে স্পর্শ করে, তাহা হইলে যান্ত্রিক ত্রুটি প্রত্যেক পাঠ হইতে বিয়োগ করিতে হইবে। আর যদি শূন্যদাগ প্রারম্ভিক দাগ ছাড়াইয়া গেলে A ও B পরস্পর স্পর্শ করে, তাহা হইলে যান্ত্রিক ত্রুটি প্রত্যেক পাঠের সহিত যোগ করিতে হইবে।

ব্যবহার : কোনও সরু তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল (Area of Cross-section) মাপিবার জন্য স্ক্রু-গজ ব্যবহার করা যায়। একটি সরু তারকে দৈর্ঘ্যের সহিত লম্বভাবে কাটিলে বৃত্তাকার যে তল পাওয়া যায় তাহাকে প্রস্থচ্ছেদ (Cross-section) বলে। বৃত্তাকার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $=\pi \times$ (ব্যাসার্ধ)^2।

অতএব স্ক্রু-গজের সাহায্যে তারটির বিভিন্ন স্থানের ব্যাস মাপিয়া তাহা হইতে গড় ব্যাস লইয়া এই সূত্র প্রয়োগ করিলেই প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল পাওয়া যাইবে। তারটির ব্যাস মাপিতে হইলে, A ও B প্রান্তের মধ্যে তারটিকে লম্বভাবে ধরিয়া ড্রাম ঘুরাইতে হইবে যতক্ষণ না A ও B প্রান্ত তারটিকে উভয় দিকে স্পর্শ করে। এখন রৈখিক ও বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ যোগ করিলে নির্ণেয় ব্যাসার্ধ পাওয়া যাইবে।

এই অবস্থায় মনে করা যাক্, CD প্রান্ত মূলস্কেলের 1 মিলিমিটার দাগের কিছু ডাইনে আছে এবং রেফারেন্স লাইনের সহিত বৃত্তাকার স্কেলের 45 দাগ মিলিয়াছে। অতএব নির্ণেয় ব্যাস $=1$ মিলিমিটার $+ 45 \times \frac{1}{100}$ মি. মি. $=$ $(1+\cdot 45)$ মি. মি. $=1\cdot 45$ মি. মি.

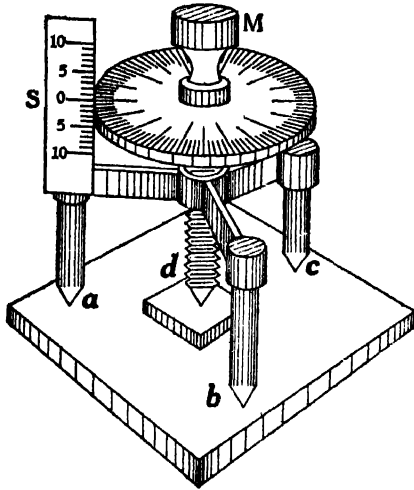
যান্ত্রিক ত্রুটি থাকিলে প্রয়োজনীয় সংশোধন করিয়া লইতে হইবে।

স্ফেরোমিটার

বর্ণনা : স্ফেরোমিটার* যন্ত্রটিও স্ক্রু-গজ যন্ত্রের মতো একই মূলনীতির উপর গঠিত। *a. b. c.* তিনটি পায়ার উপর যন্ত্রটি দাঁড়াইয়া থাকে। M স্ক্রুটিকে ঘুরাইলে অপর একটি পায়া *d* উঠানামা করে। M-এর সহিত সংলগ্ন বৃত্তাকার প্লেটটিও M-এর সহিত ঘোরে। প্লেটটির উপর একটি বৃত্তাকার স্কেল অঙ্কিত আছে। উহা সমান 100 ভাগে বিভক্ত। পায়া সংলগ্ন একটি মিলিমিটার স্কেল S বৃত্তাকার প্লেটটির পাশে খাড়াভাবে দাঁড়াইয়া আছে। প্লেটটিকে সম্পূর্ণ এক পাক ঘুরাইলে S-স্কেলের উপর প্লেটটি সাধারণত 1 মিলিমিটার পরিমাণ অপসারিত হয়। সুতরাং *d*-এর নিম্নপ্রান্তও এক মিলিমিটার উঠে অথবা নামে। অতএব

* ইহার দ্বারা গোলক-আকৃতি (Spherical) তলের ব্যাসার্ধ মাপা যায় বলিয়া ইহার নাম Spherometer.

প্লেটটিকে বৃত্তাকার স্কেলের মাত্র এক ঘর পরিমাণ ঘুরাইলে *d*-এর নিম্নপ্রান্ত $\frac{1}{100}$ মিলিমিটার বা ·01 মিলিমিটার উঠে অথবা নামে। এই ·01 মিলিমিটারই এই স্ফেরোমিটারটির লঘিষ্ঠ মাপ (Least Count)।

ব্যবহার: মনে করা যাক্, একটি কাচের পাতলা প্লেটের বেধ (thickness) নির্ণয় করিতে হইবে। প্রথমে যন্ত্রটি একটি সমতল বড় কাচের প্লেটের উপর রাখিয়া M-কে ঘুরাইয়া *d*-পায়াটিকে উপরে তুলিয়া লওয়া হয়। তারপর *d*-এর ঠিক নীচে পরিমেয় প্লেটটি রাখা হয়। এইবার M-কে ঘুরাইয়া *d*-এর নিম্নপ্রান্ত দ্বারা প্লেটটির উপরিতলকে ঠিক স্পর্শ করা হয়। এখন যন্ত্রটি সাবধানে অল্প তুলিয়া প্লেটটি সরাইয়া দিয়া আবার ইহাকে বড় প্লেটের উপর রাখা হয়। এই অবস্থায় আবার M-কে ঘুরাইয়া *d*-এর নিম্নপ্রান্ত দ্বারা বড় প্লেটের উপরিতলকে ঠিক স্পর্শ করা হয়।

১২নং চিত্র : স্ফেরোমিটার

ঘুরাইবার সময় লক্ষ্য রাখিতে হইবে বৃত্তাকার স্কেলের কত ঘর পরিমাণ ঘুরাইতে হইল। মনে করা যাক, বৃত্তাকার স্কেলের N ঘর ঘুরাইতে হইল। N-কে লঘিষ্ঠ মাপ ·01 মি. মি. দ্বারা গুণ করিলেই প্লেটটির নির্ণেয় বেধ পাওয়া যায়।

সারাংশ

পদার্থবিদ্যার **সূক্ষ্ম পরিমাপ** একটি প্রয়োজনীয় বিষয়। পদার্থের বিভিন্ন ধর্মসম্বন্ধে প্রকৃত তথ্য জানিতে হইলে পরিমাপ ক্রিয়া দ্বারাই তাহা সম্ভব।

প্রাকৃতিক রাশি: দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্রফল, দ্রুতি (speed) প্রভৃতি যাহাদের পরিমাপ করা যায় তাহাদের রাশি বলে। পদার্থবিদ্যায় যে সকল রাশি ব্যবহৃত হয়, তাহাদের প্রাকৃতিক রাশি বলে। যেমন—দ্রুতি, বল, চাপ তাপ প্রভৃতি। **দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়** এই তিনটিকে মৌলিক রাশি বলে। কোনও বস্তুর পদার্থের পরিমাণকে উহার ভর বলে। মৌলিক রাশি তিনটির এক বা একাধিক রাশির সমন্বয়ে অন্য সমস্ত প্রাকৃতিক রাশিকে প্রকাশ করা যায়।

একক: কোনও রাশিকে মাপিবার উপযুক্ত 'মাপকাঠি' বা 'মাপক' (Measures)-কে একক বলা হয়। প্রধানত দুইটি একক প্রণালী সর্বত্র প্রচলিত—**সি. জি. এস.** এবং **এফ. পি. এস.** একক প্রণালী (C. G. S. and F. P. S. Systems of Units)।

সি. জি. এস. একক প্রণালীর তিনটি মৌলিক একক হইল যথাক্রমে **সেণ্টিমিটার, গ্রাম** এবং **সেকেণ্ড**।

সেণ্টিমিটার (Centimetre) **:** প্যারিসের আন্তর্জাতিক রক্ষণশালায় সুরক্ষিত প্লাটিনাম-ইরিডিয়াম মিশ্রধাতুর দণ্ডের দৈর্ঘ্যকে একক মিটার বলা হয়। ইহা পৃথিবীর পরিধির এক-চতুর্থাংশের প্রায় এক কোটি ভাগের এক ভাগ। সিন্টিমিটার (সংক্ষেপে সে. মি. বা c. m.) এক মিটারের এক-শতাংশ।

গ্রাম (Gram) **:** 4 ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় এক ঘন সেন্টিমিটার বিশুদ্ধ জলের ভরকে এক গ্রাম বলা হয়।

সেকেণ্ড (Second) **:** এক গড়-সৌর দিবসের $\frac{1}{৮৬৪০০}$ অংশকে এক সেকেণ্ড ধরা হয়।

এফ. পি. এস. একক প্রণালীর তিনটি মৌলিক একক হইলে যথাক্রমে ফুট, পাউণ্ড ও সেকেণ্ড। একটি **প্রামাণিক গজ** ও একটি **প্রামাণিক পাউণ্ড** ওয়েস্টমিনস্টারের রক্ষণশালায় রক্ষিত আছে। সময়ের একক সেকেণ্ড উভয় প্রণালীতেই এক।

সি. জি. এস. প্রণালীতে ডেকা (Deka) অর্থাৎ 10 গুণ, হেক্টো (Hecto) অর্থাৎ 100 গুণ, কিলো (Kilo) অর্থাৎ 1000 গুণ প্রভৃতি শব্দাংশ-যোগে বড় রাশি এবং ডেসি (Deci) অর্থাৎ এক-দশমাংশ, সেন্টি (Centi) অর্থাৎ এক-শতাংশ এবং মিলি (Milli) অর্থাৎ এক-সহস্রাংশ প্রভৃতি শব্দাংশ যোগে ছোট রাশি প্রকাশ করা হয়। যেমন 1 কিলোগ্রাম $=1000$ গ্রাম; 1 মিলিমিটার $=\frac{1}{1000}$ মিটার বা $\cdot001$ মিটার ইত্যাদি। এই প্রণালীতে দশগুণ বা দশাংশের সাহায্যে ছোট বড় রাশিকে প্রকাশ করা হয় বলিয়া ইহাকে দশমিক প্রণালীও (Decimal System) বলা হয়। এই প্রণালীতে গণনা করার সুবিধা হয়, এইজন্য বিজ্ঞানের ক্ষেত্রে এবং ক্রমশ সর্বক্ষেত্রেই ইহা প্রচলিত হইতেছে।

দুইটি প্রণালীর সম্বন্ধ **:** 1 ইঞ্চি $=2\cdot54$ সে. মি.; 1 ফুট $=30\cdot48$ সে. মি.; 1 মিটার $=39\cdot37$ ইঞ্চি; 1 পাউণ্ড $=453\cdot6$ গ্রাম।

অনুশীলনী

1. *State what you know about the origin of Metre. What is the Prototype Metre? Define a Gram.*

2. *What do the names C. G. S. and F. P. S. indicate? What are the fundamental quantities in Physics?*

দ্বিতীয় অধ্যায়

বলবিদ্যা
[Mechanics]

গতি ও গতি-সম্বন্ধীয় সমীকরণ
[Motion and Equations of Motion]

বিশ্ব প্রকৃতির সমস্ত ঘটনাই মূলত **পদার্থের** (matter) উপর **শক্তির** (energy) প্রতিক্রিয়ার ফল। **পদার্থ জড়।** শক্তির সাহায্য ভিন্ন তাহার নিজের কোনও কিছুই করার ক্ষমতা নাই। শক্তির প্রকাশও আবার পদার্থের মাধ্যম ছাড়া সম্ভব নয়। দুইয়ের সম্বন্ধ অবিচ্ছেদ্য। পদার্থ শক্তিসম্পন্ন হইলে বহুক্ষেত্রে তাহা অন্য পদার্থের উপর **বল** (force) প্রয়োগ করিতে পারে। বল প্রয়োগের ফলে পদার্থের গতির পরিবর্তন হওয়া সম্ভব। বর্তমান অংশে আমরা পদার্থের গতি ও পদার্থের উপর বলের ক্রিয়া সম্বন্ধে আলোচনা করিব। পদার্থবিদ্যার এই অংশকে **বলবিদ্যা** (mechanics) বলে। বলবিদ্যা আলোচনার সময় আমরা যে সকল কথা প্রায়ই-ব্যবহার করিব নিম্নে তাহাদের কয়েকটির সংজ্ঞা দেওয়া হইল।

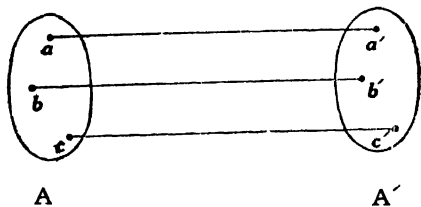
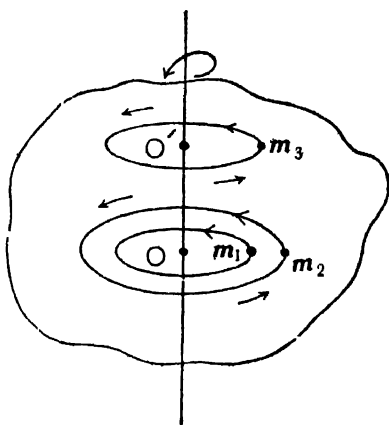
বস্তু (Body) **:** পদার্থের অংশকে **বস্তু** বলে। পদার্থের ন্যায় বস্তুরও ওজন ও আয়তন আছে। খুব কম আয়তনের বস্তুকে **কণা** (particle) বলা হয়। বস্তুকে কণার সমষ্টি বলিয়া মনে করা যায়। খুব বেশী বল প্রয়োগ সত্ত্বেও যদি কোনও বস্তুর যে কোনও দুইটি কণার দূরত্ব সকল সময়েই সমান থাকে তাহা হইলে সেই বস্তুকে **দৃঢ় বস্তু** (rigid body) বলে।

স্থিতি (Rest) ও গতি (motion) : পৃথিবী-পৃষ্ঠে যে সমস্ত বস্তু আমরা দেখিতে পাই তাহাদের কেহ অচল (বা স্থির) আবার কেহ সচল (বা গতিশীল)। যে সমস্ত বস্তুর অবস্থিতি সময়ের সহিত পরিবর্তিত হয় না তাহাদিগকে অচল এবং যাহাদের সময়ের সহিত স্থান পরিবর্তন হয় তাহাদিগকে সচল বলে। ঘরবাড়ি প্রভৃতি বস্তুর সময়ের সহিত স্থান পরিবর্তন হয় না বলিয়া তাহারা স্থির এবং চলন্ত রেলগাড়ি, মোটর গাড়ি প্রভৃতির সময়ের সহিত স্থান পরিবর্তন হয় বলিয়া তাহারা গতিশীল বা সচল। মাটির উপর দাঁড়াইয়া একটি গাছকে দেখিলে তাহা স্থির বলিয়া মনে হয় কিন্তু চলন্ত রেলগাড়ির ভিতরে বসিয়া গাছটিকে দেখিলে তাহাকে গতিশীল বলিয়া মনে হইবে। সুতরাং দেখা যাইতেছে বস্তুর সচল বা অচল অবস্থা দর্শকের অবস্থান ও গতির উপর নির্ভর করে। সেইজন্য গতি বা স্থিতি সকল সময়েই **আপেক্ষিক** (relative)।

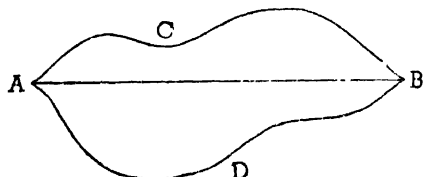
গতির প্রকারভেদ : গতি দুই প্রকার। **চলন** (translational motion) ও **ঘূর্ণন** (rotational motion)। যদি গতিশীল বস্তুর

প্রত্যেকটি কণা সরলরেখায় একই দূরত্ব অতিক্রম করিয়া স্থান পরিবর্তন করে তাহা হইলে বস্তুর সেই গতিকে **চলন** বলে। যদি গতিশীল বস্তুর প্রত্যেকটি কণা একটি নির্দিষ্ট সরলরেখার বিভিন্ন বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া বৃত্তপথে স্থান পরিবর্তন করে তাহা হইলে বস্তুর সেই গতিকে **ঘূর্ণন** বলে। মনে করা যাক্, একটি বস্তু A অবস্থান হইতে যাত্রা শুরু করিয়া কিছুক্ষণ পরে

১৪নং চিত্র : চলন বেগ

A′ অবস্থানে পৌঁছিল (১৪নং চিত্র)। বস্তুর বিভিন্ন কণার প্রথম অবস্থিতি (a, b, c,……) ও দ্বিতীয় অবস্থিতি (a′, b′, c′,……)-কে সরলরেখা দ্বারা যুক্ত করা হইলে যদি দেখা যায় যে প্রত্যেকটি কণা একই দূরত্ব অতিক্রম করিয়াছে তাহা হইলে বস্তুর গতিকে চলন বলা হয়। আর যদি দেখা যায় যে বস্তুর বিভিন্ন কণা একটি সরলরেখায় অবস্থিত বিভিন্ন বিন্দুকে (অথবা একটি বিন্দুকে) কেন্দ্র করিয়া বৃত্তপথে ঘুরিতেছে তাহা হইলে বস্তুর সেই গতিকে ঘূর্ণন বলে। ১৫নং চিত্রে m_1 ও m_2 বিন্দু O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া ঘুরিতেছে এবং m_1 বা m_2 ও m_3 একই সরলরেখায় অবস্থিত O এবং O′ বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া ঘুরিতেছে।

১৫নং চিত্র : ঘূর্ণন বেগ

সরণ (Displacement) : কোনও চলমান বস্তু নির্দিষ্ট সময়ের আদিতে ও অন্তে যে দুইটি স্থানে অবস্থিত থাকে সেই দুই স্থানের (গতির দিকে অঙ্কিত) সরলরৈখিক দূরত্বকে বস্তুর সরণ বলে।

মনে করা যাক্, কোনও একটি বস্তু প্রথমে A বিন্দুতে ছিল এবং কিছুক্ষণ পরে তাহা B বিন্দুতে উপস্থিত হইল। সুতরাং A বিন্দু হইতে B বিন্দু পর্যন্ত (B বিন্দু হইতে A বিন্দু নয়) একটি সরলরেখা টানিলে সেই সরলরেখার দৈর্ঘ্য বস্তুর সরণের মান (magnitude) নির্দেশ করিবে, এবং সরলরেখাটি অঙ্কনের দিক বস্তুর সরণের

১৬নং চিত্র : সরণ

দিক (direction) নির্দেশ করিবে। যদি বস্তুটি বক্রপথ (ACB অথবা ADB) দিয়া A হইতে B বিন্দুতে উপস্থিত হয় তাহা হইলেও AB সরল-রেখাই বস্তুর সরণ সূচিত করিবে (১৬নং চিত্র)। যদি বস্তুটি B হইতে A বিন্দুতে যাইত তাহা হইলে BA সরল রেখাটি (AB নয়) বস্তুর সরণ বুঝাইত। অতএব সরণ বুঝাইতে হইলে সরণের মান ও দিক উভয়ই উল্লেখ করিতে হইবে। সরণের মান এফ. পি. এস. (F. P. S.) এককে ফুট এবং সি. জি. এস. (C. G. S) এককে সেন্টিমিটারে প্রকাশ করা হয়।

দ্রুতি (Speed): সরল অথবা বক্রপথে কোনও বস্তু বা কণা একক সময়ে (Unit time) যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহাকে বস্তু বা কণার দ্রুতি বলে। কোনও রেলগাড়ির দ্রুতি ঘণ্টায় 30 মাইল বলিলে আমরা বুঝি যে গাড়িটি (উত্তর, দক্ষিণ বা অন্য যে কোনও দিকেই হোক না কেন) প্রতি ঘণ্টায় 30 মাইল দূরত্ব অতিক্রম করিতেছে। গাড়িটি কোন্ দিকে যাইতেছে তাহা বলার প্রয়োজন নাই। দ্রুতির শুধু মান নির্দেশ করিতে হইবে, দিক নির্দেশ করিতে হইবে না।

বেগ (Velocity): বস্তুর বা কণার একক সময়ের সরণকে বেগ বলে। যেহেতু সরণের মান ও দিক উভয়ই আছে সুতরাং বেগ বুঝাইতে মান ও দিক দুই-ই বলিতে হইবে। যদি কোনও রেলগাড়ি উত্তর দিকে ঘণ্টায় 30 মাইল দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা হইলে গাড়িটির বেগ বুঝাইতে বলিতে হইবে—"গাড়িটির বেগ উত্তর দিকে ঘণ্টায় 30 মাইল।" অতএব **দিকসমন্বিত দ্রুতিকে বেগ বলে।**

বেগের মান ও দ্রুতিকে F. P. S. এককে ফুট প্রতি সেকেণ্ড অথবা C. G. S. এককে সেন্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ড-এ প্রকাশ করা হয়। মাইল-ঘণ্টা, গজ-মিনিট, কিলোমিটার-ঘণ্টা প্রভৃতি বিভিন্ন এককে ইহারা প্রকাশ করা থাকিলে সুবিধার জন্য তাহাদিগকে F. P. S. অথবা C. G. S. এককে পরিবর্তিত করা হয়।

উদাহরণ 1: একটি গাড়ির বেগের মান ঘণ্টায় 30 মাইল। এফ. পি. এস. এককে গাড়িটির বেগের মান কত?

$$\text{বেগের মান} = 30 \text{ মাইল প্রতি ঘণ্টা} = \frac{30 \text{ মাইল}}{1 \text{ ঘণ্টা}}$$

$$= \frac{30 \times 1760 \times 3}{1 \times 60 \times 60}$$

$$= 30 \times \frac{22}{15} \text{ ফুট প্রতি সেকেণ্ড}$$

$$= 44 \text{ ফুট প্রতি সেকেণ্ড}$$

উদাহরণ 2: একটি রেলগাড়ির দ্রুতি ঘণ্টায় 4 কিলোমিটার। সি. জি. এস. এককে গাড়ির দ্রুতি কত?

$$\text{দ্রুতি} = 4 \text{ কিলোমিটার প্রতি ঘণ্টা}$$
$$= \frac{4 \text{ কিলোমিটার}}{1 \text{ ঘণ্টা}}$$
$$= \frac{4 \times 1000 \times 100 \text{ সেন্টিমিটার}}{1 \times 60 \times 60 \text{ সেকেণ্ড}}$$
$$= 111\frac{1}{9} \text{ সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড}$$

সম (Uniform) **ও অসম** (Variable) **দ্রুতি ও বেগ :** যদি কোনও বস্তু বা কণা একই নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে (তাহা যত ক্ষুদ্র হোক না কেন) সমান দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা হইলে তাহার দ্রুতিকে **সমদ্রুতি** বলে। অন্যথায় দ্রুতি অসম। যদি কোনও বস্তু বা কণা একই নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে (তাহা যত ক্ষুদ্র হোক না কেন) **নির্দিষ্ট দিকে** চলমান অবস্থায় সমান দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা হইলে তাহার বেগকে **সমবেগ** বলে। অন্যথায় বেগ অসম। সমদ্রুতিসম্পন্ন বস্তু বা কণার দিক পরিবর্তিত হইলে উহার বেগকে অসম বলিতে হইবে। কেননা গতির মান সমান থাকিলেও দিক পরিবর্তিত হইতেছে।

বেগ অসম হইলে তাহাকে সাধারণত **গড়বেগ** (average velocity) অথবা **মুহূর্তবেগ** (instantaneous velocity) দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

গড়বেগ : অসমবেগবিশিষ্ট কোনও বস্তু বা কণা নিদিষ্ট সময়ের ব্যবধানে যে দূরত্ব অতিক্রম করে, সেই দূরত্ব ও সময়ের ভাগফলকে গড় বেগ বলে।

$$\text{গড় বেগ} = \frac{\text{মোট দূরত্ব}}{\text{মোট সময়ের ব্যবধান}}$$

যদি কোনও বস্তু বা কণা প্রথম সেকেণ্ডে 2 ফুট, দ্বিতীয় সেকেণ্ডে 4 ফুট, তৃতীয় সেকেণ্ডে 6 ফুট এবং চতুর্থ সেকেণ্ডে 8 ফুট দূরত্ব অতিক্রম করে, তাহা হইলে তাহার বেগ অসম হইবে এবং তাহার গড়বেগের মান

$$= \frac{2+4+6+8}{4} = 5 \text{ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে।}$$

আদি ও অন্তবেগের যোগফলের অর্ধাংশকে **মধ্যবেগ** (mean velocity) বলা হয়। এখানে মধ্যবেগ $= \frac{2+8}{2} = 5$ ফুট প্রতি সেকেণ্ড।

বস্তুটি যদি প্রথম সেকেণ্ডে 2 ফুট, দ্বিতীয় সেকেণ্ডে 4 ফুট, তৃতীয় সেকেণ্ডে 7 ফুট এবং চতুর্থ সেকেণ্ডে 11 ফুট দূরত্ব অতিক্রম করিত, তাহা হইলে তাহার গড়বেগের মান $= \frac{2+4+7+11}{4} = 6$ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে এবং তাহার মধ্যবেগের মান $= \frac{2+11}{2} = 6\frac{1}{2}$ ফুট প্রতি সেকেণ্ড হইত।

অতএব দেখা যাইতেছে, যদি বস্তুর গতির পরিবর্তন কোনও নির্দিষ্ট হারে হয় তাহা হইলে তাহার গড়বেগ ও মধ্যবেগ সমান হয়। কিন্তু যদি গতি

পরিবর্তনের হার নির্দিষ্ট না হয় তাহা হইলে গড়বেগ ও মধ্যবেগ সাধারণত এক হয় না। প্রথম উদাহরণে একটি নির্দিষ্ট হারে (2 ফুট প্রতি সেকেণ্ড) বস্তুটির গতির বৃদ্ধি হইতেছে কিন্তু দ্বিতীয় উদাহরণে গতি বৃদ্ধির কোন নির্দিষ্ট হার নাই। সেইজন্য প্রথম ক্ষেত্রে গড়বেগ ও মধ্যবেগ সমান কিন্তু দ্বিতীয় ক্ষেত্রে নয়।

মুহূর্তবেগ ঃ অসম বেগবিশিষ্ট কোনও বস্তু বা কণা অতি ক্ষুদ্র সময়ের ব্যবধানে যে দূরত্ব অতিক্রম করে, সেই দূরত্ব ও সময়ের ভাগফলকে **মুহূর্ত-বেগ** বলে।

ত্বরণ (Acceleration) ঃ **বেগবৃদ্ধির হারকে ত্বরণ বলে অর্থাৎ একক সময়ে বেগবৃদ্ধির পরিমাণকে ত্বরণ বলে।**

মন্দন (Retardation) ঃ **বেগহ্রাসের হারকে মন্দন বলে অর্থাৎ একক সময়ে বেগের হ্রাসকে মন্দন বলে।** স্তুতরাং মন্দন = (−) ত্বরণ।

বেগের ন্যায় ত্বরণ ও মন্দনের মান ও দিক আছে এবং বেগের ন্যায় ইহারা সম অথবা অসম হইতে পারে। আমাদের আলোচনা সম ত্বরণ ও সম মন্দনের মধ্যেই সীমাবদ্ধ থাকিবে।

ত্বরণ ও মন্দনের একক ঃ

যেহেতু ত্বরণ অথবা মন্দন $= \dfrac{\text{বেগের পরিবর্তন (বৃদ্ধি অথবা হ্রাস)}}{\text{সময়}}$

স্তুতরাং, F. P. S. এককে ত্বরণ অথবা মন্দনকে $\dfrac{\text{ফুট প্রতি সেকেণ্ড}}{\text{সেকেণ্ড}}$ অর্থাৎ ফুট প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড অথবা ফুট প্রতি সেকেণ্ড^2 এইরূপে প্রকাশ করা হয় এবং C. G. S. এককে $\dfrac{\text{সেন্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ড}}{\text{সেকেণ্ড}}$ অর্থাৎ সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড অথবা সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড^2 এইরূপে প্রকাশ করা হয়।

ত্বরণ বা মন্দন F. P. S. ও C. G. S. একক ছাড়া অন্য এককে প্রকাশ করা থাকিলে স্তুবিধার জন্য তাহাদিগকে F. P. S. ও C. G. S. এককে প্রকাশ করা হয়। নিম্নে কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া হইল।

উদাহরণ 1 : একটি বস্তু 60,000 গজ প্রতি মিনিট প্রতি মিনিট ত্বরণ সহ চলিতেছে, F. P. S. এককে ত্বরণ কত ?

$$\text{ত্বরণ} = \frac{60{,}000 \text{ গজ}}{1 \text{ মিনিট} \times 1 \text{ মিনিট}} = \frac{60{,}000 \times 3 \text{ ফুট}}{60 \text{ সেকেণ্ড} \times 60 \text{ সেকেণ্ড}}$$

$$= \mathbf{50} \text{ ফুট প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড}$$

উদাহরণ 2 : একটি বস্তু 3888 কিলোমিটার প্রতি ঘণ্টা প্রতি ঘণ্টা ত্বরণ সহ চলিতেছে, C. G. S. এককে ত্বরণের মান কত ?

$$= \frac{3888 \times 100{,}000 \text{ সেন্টিমিটার}}{60 \times 60 \text{ সেকেণ্ড} \times 60 \times 60 \text{ সেকেণ্ড}}$$

$$= \mathbf{30} \text{ সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড}$$

গতি-সম্বন্ধীয় সমীকরণ
[Equations of motion]

বস্তু বা কণার বেগ, ত্বরণ ও সরণ কয়েকটি সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা হইয়া থাকে। এই সমীকরণগুলিকে গতি সম্বন্ধীয় সমীকরণ বলে।

(1) **প্রথম সমীকরণ।**

মনে করা যাক্, কোনও একটি বস্তু বা কণা u সমবেগ সহ t সময় চলিবার পর s দূরত্ব অতিক্রম করিল। দূরত্ব, সমবেগ ও সময়ের পরস্পর সম্বন্ধ একটি সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করিতে হইবে।

সমবেগের সংজ্ঞা অনুসারে

বস্তুটি 1 সেকেণ্ডে $u.1$ ফুট দূরত্ব অতিক্রম করিয়াছে

∴ " 2 " $u2$ " " " "

∴ " t " ut " " " "

যেহেতু অতিক্রান্ত দূরত্বের মান s ফুট, সুতরাং $\boldsymbol{s=ut}$ (1)

যেহেতু সমবেগের দিক ও অতিক্রান্ত দূরত্বের দিক এক, সুতরাং দূরত্বকে সরণ বলা যাইতে পারে।

(2) **দ্বিতীয় সমীকরণ।**

মনে করা যাক্, কোনও বস্তু u আদিবেগ ও f সমত্বরণ সহ t সময় চলিয়াছে। বস্তুটির অন্তবেগ, আদিবেগ, ত্বরণ ও সময়ের পরস্পর সম্বন্ধ একটি সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করিতে হইবে।

যেহেতু বস্তুটির আদিবেগ u এবং ত্বরণ f

∴ 1 সেকেণ্ড পরে বস্তুটির বেগ $u+f.1$

∴ 2 " " " " $u+f.2$

∴ t " " " " $u+ft$

∴ বস্তুটির অন্তবেগকে v দ্বারা সূচিত করা হইলে, $\boldsymbol{v=u+ft}$ (2)

(3) **তৃতীয় সমীকরণ।**

মনে করা যাক্, কোনও বস্তু u আদিবেগ ও f সমত্বরণ সহ t সেকেণ্ড চলিবার পর s দূরত্ব অতিক্রম করিল। দূরত্ব, আদিবেগ, ত্বরণ ও সময়ের পরস্পর সম্বন্ধ একটি সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করিতে হইবে।

যেহেতু বস্তুটি সমত্বরণ সহ চলিতেছে, সুতরাং তাহার বেগ অসম হইলেও তাহা নির্দিষ্ট হারে বৃদ্ধি পাইতেছে।

অতএব (বস্তুটির) গড়বেগ = (বস্তুটির) মধ্যবেগ।

যদি বস্তুটির অন্তবেগকে v দ্বারা সূচিত করা হয়, তাহা হইলে

$$\frac{s}{t} \text{ (গড়বেগ)} = \frac{u+v}{2} \text{ (মধ্যবেগ)}$$

কিন্তু, দ্বিতীয় সমীকরণ অনুসারে $v=u+ft$

সুতরাং $\frac{s}{t}=\frac{u+u+ft}{2}=\frac{2u+ft}{2}=u+\frac{1}{2}ft$

∴ $\boldsymbol{s=ut+\frac{1}{2}ft^2}$ (3)

(4) চতুর্থ সমীকরণ

মনে করা যাক্, কোনও একটি বস্তু u আদিবেগ, f সমত্বরণ সহ চলিয়া s দূরত্ব অতিক্রম করিবার পর তাহার অন্তবেগ v হইল। অন্তবেগ, আদিবেগ, ত্বরণ ও দূরত্বের পরস্পর সম্বন্ধ একটি সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করিতে হইবে।

দ্বিতীয় সমীকরণের উভয়দিকের বর্গ লইলে আমরা পাই,

$$v^2=(u+ft)^2=u^2+2uft+f^2t^2$$

অথবা, $v^2=u^2+2f(ut+\frac{1}{2}ft^2)$

অথবা, $\boldsymbol{v^2=u^2+2fs}$ (4)

(5) পঞ্চম সমীকরণ।

সমগ্র সময়ের অন্তর্বর্তী কোনও নির্দিষ্ট একক সময়ে অতিক্রান্ত দূরত্বের পরিমাণ।

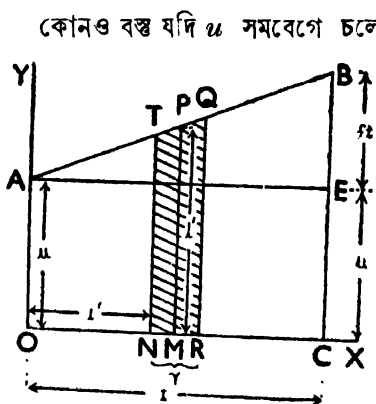
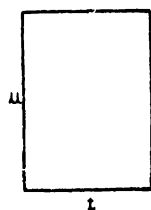
মনে করা যাক্, কোনও একটি বস্তু u আদিবেগ ও f সমত্বরণ সহ t সেকেণ্ড চলিয়াছে। বস্তুটির t^{th} সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব (S_t) বাহির করিতে হইবে।

$S_t=t$ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত সমগ্র দূরত্ব — $(t-1)$সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত সমগ্র দূরত্ব,

অথবা, $S_t=\{ut+\frac{1}{2}ft^2\}-\{u(t-1)+\frac{1}{2}f(t-1)^2\}$

অথবা, $\boldsymbol{S_t=u+\frac{1}{2}f(2t-1)}$ (5)

বিঃ দ্রঃ বস্তুটি যদি u আদিবেগ ও f মন্দনসহ যাত্রা শুরু করে তাহা হইলে সমীকরণগুলিতে f-এর স্থলে $-f$ লিখিতে হইবে। বস্তুটির যদি আদিবেগ না থাকে তাহা হইলে u-এর মান শূন্য হইবে অর্থাৎ সময় গণনার শুরুতে বস্তুর কোনও বেগ না থাকিলে $u=0$ ধরিতে হইবে।

লেখচিত্রের সাহায্যে $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$ সূত্রটির প্রমাণ :

কোনও বস্তু যদি u সমবেগে চলে তাহা হইলে t সেকেণ্ড সময়ে উহার অতিক্রান্ত দূরত্ব s-কে $s=ut$ সূত্র দ্বারা প্রকাশ করা যায়। u এবং t কোনও আয়তক্ষেত্রের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থকে সূচিত করিলে ut উহার ক্ষেত্রফলকে সূচিত করিবে। সুতরাং আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল দ্বারা বস্তুটির মোট অতিক্রান্ত দূরত্বকে প্রকাশ করা যায়।

১৭নং চিত্র : লেখচিত্রের সাহায্যে সূত্রের প্রমাণ

মনে করা যাক্, পূর্বের দ্বিতীয় সমীকরণ $v=u+ft$-কে লেখচিত্র দ্বারা প্রকাশ করিতে হইবে। t-কে ভুজ (abscissa) এবং v-কে কোটি

(ordinate) লইলে লেখটি AB সরল রেখার মত হইবে। ($v=ft+u$-কে $y=mx+c$ সমীকরণের সহিত তুলনা করিলে u-কে c মনে করা যায় অর্থাৎ $u=$ AO).

P বিন্দু AB লেখের উপর যে কোনও বিন্দু হইলে, PM লম্বটি OM ($=t'$) সেকেণ্ড পরে বস্তুটির বেগ ($=v'$)-কে সূচিত করিবে। PM রেখার উভয়পার্শ্বে TQRN একটি সংকীর্ণ ট্রাপিজিয়াম আঁকা হইল (যাহাতে NM=MR হয়)। জ্যামিতির সাহায্যে দেখানো যায়, এক্ষেত্রে PM $=\frac{1}{2}$ (TN+RQ). এখন ট্রাপিজিয়াম TQRN-এর ক্ষেত্রফল=NR $\times \frac{1}{2}$ (TN+QN)=NR $\times$ PM.

NR=এক সেকেণ্ডের একটি ক্ষুদ্র ভগ্নাংশ k হইলে, TQRN ট্রাপিজিয়ামের ক্ষেত্রফল দ্বারা ঐ k সময়ে বস্তুটি অতিক্রান্ত দূরত্বকে প্রকাশ করা যায়।

সমগ্র AOCB ট্রাপিজিয়মকে এইরূপ ছোট ছোট ট্রাপিজিয়মের ফালি দ্বারা গঠিত মনে করা যায়। প্রত্যেকটি ফালি ট্রাপিজিয়াম ক্ষুদ্র সময়ে বস্তু দ্বারা অতিক্রান্ত দূরত্বকে প্রকাশ করে। সুতরাং সম্পূর্ণ সময় t সেকেণ্ডে বস্তুর অতিক্রান্ত দূরত্বকে সমগ্র AOCB ক্ষেত্রটির ক্ষেত্রফল দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

এখন OC=t হইলে, BC=$v=u+ft$ হইবে। আবার AE রেখা BC রেখার উপর লম্ব হইলে EC=AO=u.

সুতরাং BE=BC−EC=$u+ft-u=ft$.

কিন্তু AOCB ক্ষেত্র=AOCE আয়ত+AEB ত্রিভুজ

$$=\text{AO}\times\text{OC}+\tfrac{1}{2}\text{BE}\times\text{AE}$$
$$=ut+\tfrac{1}{2}ft\times t$$
$$=ut+\tfrac{1}{2}ft^2.$$

অর্থাৎ অতিক্রান্ত দূরত্ব $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$.

উদাহরণ 1 : একটি বস্তু 4 সে. মি/সেকেণ্ড আদিবেগ ও 2 সে. মি/সে/সে. ত্বরণ সহ চলিলে 10 সেকেণ্ড সময়ে বস্তুটির বেগ কত হইবে ?

$v=u+ft$ সূত্রে $u=4$ সে. মি/সে.

$f=2$ সে. মি/সে/সে.

এবং $t=10$ সে.

সুতরাং $v=(4+2\times10)$ সে. মি/সে=24 সে. মি/সে.

উদাহরণ 2 : একটি বস্তু 5 ফুট/সেকেণ্ড আদিবেগে চলিতে আরম্ভ করিয়া 6 সেকেণ্ড পরে 23 ফুট/সেকেণ্ড বেগ লাভ করিল। বস্তুটির উপরে ত্বরণের পরিমাণ কত ?

এখানে $u=5$ ফুট/সে.

$v=23$ ফুট/সে.

এবং $t=6$ সে.

সুতরাং $v = u+ft$ সূত্রে এই সকল মান লিখিয়া :

$$23 = 5+6f$$

বা, $6f = 23-5 = 18$

বা, $f =$ 3 ফুট/সে/সে.

উদাহরণ 3 : একটি বস্তু 5 সে. মি/সে. আদিবেগ ও 3 সে. মি/সে/সে. ত্বরণ সহ চলিতে আরম্ভ করিল। 6 সেকেণ্ড সময়ে উহা দ্বারা অতিক্রান্ত দূরত্ব কত হইবে ?

এখানে $u=5$ সে. মি/সে., $f=3$ সে. মি/সে/সে. এবং $t=6$ সে.

$s = ut+\frac{1}{2}ft^2$ সূত্রে এই সকল মান বসাইয়া :

$s = 5\times6+\frac{1}{2}\times3\times(6)^2$ সে. মি. $=$ **84** সে. মি.

উদাহরণ 4 : একটি বস্তু স্থির অবস্থা হইতে 8 ফুট/সে/সে. ত্বরণ সহ চলিতে আরম্ভ করিল। 6 সেকেণ্ড পরে উহা কত দূরত্ব অতিক্রম করিবে ?

এখানে $u=0$, $f=8$ ফুট/সে/সে. এবং $t=6$ সেকেণ্ড

সুতরাং, $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$ সূত্রে, $s=0+\frac{1}{2}\times8\times(6)^2$ ফুট

$=$ **144** ফুট

উদাহরণ 5 : একটি বস্তু নির্দিষ্ট আদিবেগ সহ চলিতে আরম্ভ করিয়া 4 সেকেণ্ডে 40 ফুট এবং 6 সেকেণ্ডে 78 ফুট দূরত্ব অতিক্রম করিল। বস্তুটির আদিবেগ ও ত্বরণ কত ?

$ut+\frac{1}{2}ft^2=s$ সূত্রে : প্রশ্নানুসারে,

$t=4$ হইলে, $s=40$, সুতরাং $4u+\frac{1}{2}f\times(4)^2=40$

বা, $4u+8f = 40 \cdots\cdots$(i)

এবং $t=6$ হইলে, $s=78$ সুতরাং, $6u+\frac{1}{2}f\times(6)^2=78$

বা, $6u+18f=78 \cdots\cdots$(ii)

(i) ও (ii) সমীকরণ সমাধান করিলে পাওয়া যাইবে—

$$u=4, \quad f=3$$

সুতরাং আদিবেগ $=$ **4** ফুট/সে., ত্বরণ $=$ **3** ফুট/সে/সে.

উদাহরণ 6 : একটি বস্তু 12 ফুট/সে. আদিবেগ ও 3 ফুট/সে/সে. মন্দনসহ চলিলে কতক্ষণ পরে উহার বেগ ঠিক বিলুপ্ত হইবে ?

প্রশ্নানুসারে $u=12$ ফুট./সে.

$f=-3$ ফুট/সে/সে. (মন্দন বলিয়া নেগেটিভ চিহ্ন হইবে)

$v=0$ এবং $t=$ নির্ণেয়।

সুতরাং, $v=u+ft$ সূত্রে এই সকল মান লিখিয়া,

$0=12-3t$

বা, $3t=12$

বা, $t=4$

সুতরাং নির্ণেয় সময় $=$ **4** সে.

উদাহরণ 7 : একটি বস্তু 8 সে. মি/সে. আদিবেগ ও 3 সে. মি/সে/সে. ত্বরণ সহ চলিতে আরম্ভ করিল। কতদূর গেলে উহার বেগ 1 মি/সে হইবে ?

এখানে $v^2=u^2+2fs$ সূত্রটি ব্যবহার করিতে হইবে।

প্রশ্নানুসারে u = 8 সে মি/সে
f = 3 সে. মি./সে/সে.

$v=1$ মি/সে
$=100$ সে. মি/সে
$s=$ নির্ণেয়

সুতরাং, $(100)^2=(8)^2+2\times3\times s.$

বা, $10000=64+6s$

বা, $6s=1000\quad-64=936$

বা, $s=\dfrac{936}{6}=156$

সুতরাং নির্ণেয় দূরত্ব $=$ **156** সে. মি.

উদাহরণ 8 : ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে চলন্ত একখানি মোটর গাড়িতে ব্রেক দেওয়ায় 16 ফুট প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড মন্দন উৎপন্ন হইল। কতদূর চলিয়া গাড়িটি থামিয়া যাইবে ?

ঘণ্টায় 1 মাইল বেগ $=\dfrac{1760\times3}{60\times60}$ ফুট প্রতি সেকেণ্ড বেগ

$=\frac{22}{15}$ ফুট প্রতি সেকেণ্ড বেগ

$\therefore$ ঘণ্টায় 30 মাইল বেগ $=\frac{22}{15}\times30$ বা 44 ফুট প্রতি সেকেণ্ড বেগ

এখানে $u=44$ ফুট প্রতি সেকেণ্ড
$v=0$

$f=-16$ ফুট প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড
$s=$ নির্ণেয়

সুতরাং, $v^2=u^2+2fs$ সূত্রে এই সকল মান লিখিয়া :

$0=(44)^2+2\times(-16)\times s$

বা, $32s=(44)^2$

বা, $s=$ **$60\frac{1}{2}$ ফুট**

উদাহরণ 9 : ঘণ্টায় 45 মাইল বেগে চলন্ত একখানি ট্রেনে ব্রেক দেওয়ায় গাড়িটি 240 ফুট চলিয়া থামিল। ব্রেকের দ্বারা কত পরিমাণ মন্দন উৎপন্ন হইল।

45 মাইল প্রতি ঘণ্টা $=45\times\dfrac{22}{15}$ বা 66 ফুট প্রতি সেকেণ্ড

$\therefore$ প্রশ্নানুসারে : $u=66$ফুট/সে.
$v=0$

$s=240$ ফুট
$f=?$

সুতরাং, $v^2=u^2+2fs$ সূত্রে এই সকল মান লিখিয়া :

$0=(66)^2+2f\times240$

বা, $480f=(66)^2$; বা, $f=\dfrac{66\times66}{480}=9{\cdot}075$

সুতরাং, $f=$ **9·075** ফুট/সে^{2}

সারাংশ

সরণ ঃ চলমান বস্তুর দুই অবস্থিতির সরলরৈখিক দূরত্বকে সরণ বলে।

দ্রুতি ঃ একক সময়ে অতিক্রান্ত দূরত্বকে বস্তুর দ্রুতি বলে।

বেগ ঃ নির্দিষ্ট দিকে একক সময়ে অতিক্রান্ত দূরত্বকে বস্তুর বেগ বলে।

ত্বরণ ও মন্দন ঃ বেগ বৃদ্ধির হারকে ত্বরণ ও বেগ হ্রাসের হারকে মন্দন বলে।

গতি সম্বন্ধীয় সমীকরণ ঃ (1) $s=ut$, (2) $v=u+ft$, (3) $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$, (4) $v^2=u^2+2fs$, (5) $s_t=u+\frac{1}{2}f(2t-1)$.

অনুশীলনী

1. *Define displacement, velocity und acceleration. What do you understand by uniform and non-uniform velocity? What is the difference between speed and velocity?*

2. *Write down the equations of motion and explain what they signify.*

3. *The velocity of a train is 60 miles per hour. What is the magnitude of the velocity in F. P. S. units?*

4. *If a body describes 4 miles in 14 minutes, what is its speed in F. P. S. units?*

5. *The velocity of a body is 88 ft./sec. Find the distance described by the body in 2 minutes.*

6. *The velocity of a body changes from 60 m. p. h. to 45 m. p. h. in 11 seconds. What is the acceleration?*

7. *A body starts with an initial velocity of 14 ft. per. sec. and an acceleration of 8 ft. per sec^2. What will be its velocity after 2 seconds?*

8. *If a body starts with an initial velocity of 12 ft. per sec. and an acceleration 4 ft. per sec^2. What distance does it describe in 5 seconds? What is the final velocity?*

9. *On applying brakes which produce a retardation of 4 ft. per sec^2 on a train moving at the rate of 30 m. p. h. at a certain distance from the station, the train comes to rest at the station. At what distance from the station were the brakes applied?*

10. *Deduce the equations of motion.*

11. *A body moves with an initial velocity 2ft per second and an acceleration 3ft. per sec. per sec. How far will it have moved before attaining the velocity 31 ft. per sec.?*

12. *A locomotive engine can produce an acceleration of 10 cm./sec./sec. in the train. In what distance after a station will the velocity of the train be 20 kilometres per hour ?*

13. *A particle moves with an acceleration of 5 ft/sec^2. In what time will its velocity increase from 10ft/sec to 50 ft. sec ? What distance will it describe during this time ?*

॥ উত্তর ॥

3. 88 *ft/sec,* 4. $22\frac{1}{7}$ ফুট/সে., 5. 10560 ফুট, 6. −2 ফুট/সে.^{2} মন্দন, 7. 30 ফুট/সে., 8. 110 ফুট, 32 ফুট/সে, 9. 242 ফুট, 11. $159\frac{1}{2}$ ফুট, 12. 154·3 *metres,* 13. 8 সে, 240 ফুট.

তৃতীয় অধ্যায়

নিউটনের বলসূত্র

[Newton's Laws of Motion]

বস্তুর গতি সম্বন্ধে পর্যালোচনা করিয়া বিখ্যাত বৈজ্ঞানিক নিউটন নিম্নলিখিত তিনটি সূত্র উদ্ভাবন করিয়াছেন। এই সূত্র তিনটিকে নিউটনের বলসূত্র বলে।

প্রথম সূত্র : বাহির হইতে বলপ্রয়োগ না করিলে বস্তুর স্থিতি বা গতি অপরিবর্তিত থাকে। স্থির বস্তু চিরকালই স্থির অবস্থায় থাকে এবং সরলরেখায় সমবেগে চলমান বস্তু চিরকাল অপরিবর্তিত বেগে চলিতে থাকে।

1. *Everybody continues in its state of rest or of uniform motion in a straight line except in so far as it be compelled by some external impressed force to change that state.*

দ্বিতীয় সূত্র : বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তনের হারের সমানুপাতী এবং প্রযুক্ত বলের দিকে বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তন ঘটে।

2. *The rate of change of momentum of a body is proportional to the impressed force and takes place in the direction in which the force acts.*

তৃতীয় সূত্র : প্রত্যেক প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ার সমান ও বিপরীতমুখী প্রতিক্রিয়া আছে।

3. *To every action there is an equal and opposite reaction*

পূর্বোক্ত তিনটি বলসূত্রের কোনও প্রত্যক্ষ প্রমাণ দেওয়া সম্ভব নয়। বিভিন্ন বস্তুর গতিবিধি পর্যালোচনা করিলে ইহাদের সত্যতা সম্বন্ধে মোটামুটি ধারণা করা যায়। জ্যোতিবিদ্যা এই তিনটি বলসূত্রের উপর নির্ভরশীল এবং আমরা জানি জ্যোতির্বিদ্যার সাহায্যে আকাশচারী গ্রহনক্ষত্র সম্বন্ধে অনেক কিছু ঘটনাই সঠিকভাবে পূর্ব হইতে বলা যায়। যেহেতু সূত্র তিনটির উপর নির্ভর করিয়া যে সমস্ত গণনা করা হইয়াছে পরীক্ষায় তাহাদের বিশেষ কোনও ত্রুটি ধরা পড়ে না সুতরাং সূত্র তিনটির সত্যতা ধরিয়া লওয়া যাইতে পারে।

প্রথম বলসূত্রের আলোচনা : নিউটনের প্রথম বলসূত্র বস্তুর জড়ধর্ম (Inertia) ও বাহির হইতে প্রযুক্ত বলের (external force) স্বরূপ সম্বন্ধে ধারণা দিয়া থাকে।

নিউটনের প্রথম বলসূত্রের প্রথম অংশ হইতে আমরা জানিতে পারি কোনও বস্তু স্থির অবস্থায় থাকিলে তাহা চিরকালই ঐ অবস্থায় থাকিবে এবং

কোনও বস্তু সমবেগে সরলরেখায় চলিতে থাকিলে তাহা অনন্তকাল ঐ ভাবেই চলিতে থাকিবে। দৈনন্দিন জীবনে আমাদের অভিজ্ঞতা আছে, যদি একটি বই টেবিলের উপর রাখিয়া দেওয়া যায় তাহা হইলে বাহির হইতে বলপ্রয়োগ না করিলে (অর্থাৎ কেহ না সরাইলে) চিরকালই বইটি ঐ টেবিলের উপর পড়িয়া থাকিবে। কিন্তু কোনও বস্তু সমবেগে সরলরেখায় চলিতে আরম্ভ করিলে অনন্তকাল একই বেগে একই সরলরেখায় চলিতে থাকে এরূপ ঘটনা একটিও চোখে পড়ে না। বরং ইহার বিপরীত ঘটনাই আমরা সচরাচর দেখিয়া থাকি। কোনও একটি বলকে গড়াইয়া দিলে তাহা চিরকাল একই বেগে একই দিকে চলে না, কিছুক্ষণ পরে থামিয়া যায়। ইহাকে নিউটনের প্রথম বলসূত্রের আপাতবিরোধী ঘটনা বলা যাইতে পারে। এক্ষেত্রে এরূপ বলা হইয়া থাকে বাতাসের বাধা ও যে তলের উপর বস্তু চলমান তাহার ঘর্ষণজনিত বাধাই বস্তুর ক্রমগতিহীনতার কারণ। যদি বাতাসের বাধা ও তলের ঘর্ষণজনিত বাধা অপসারণ করা সম্ভব হইত, তাহা হইলে বস্তুটি অনন্তকাল ধরিয়া চলিতে থাকিত। ইহার সম্ভাবনা সম্বন্ধে কয়েকটি পরীক্ষা করা যাইতে পারে।

পূর্বের পরীক্ষায় বলটিকে যে তলে গড়াইয়া দেওয়া হইয়াছে তাহা অপেক্ষা মসৃণ তলে বলটিকে গড়াইয়া দিলে দেখা যায় বলটি আরও অধিকক্ষণ গতিশীল থাকে। তলটি মসৃণতর হওয়ায় ঘর্ষণজনিত বাধা কম হয়। যদি বলটি বরফের উপর কিংবা তৈলাক্ত মসৃণ তলে গড়াইয়া দেওয়া যায়, তাহা হইলে ঘর্ষণজনিত বাধার মাত্রা অধিকতর কম হওয়ায় বস্তুটি আরও অধিকক্ষণ গতিশীল থাকে। এই পরীক্ষাগুলি যদি বায়ুশূন্য স্থানে করা যায় তাহা হইলে বলটির গতিশীল অবস্থা বহুক্ষণ বর্তমান থাকে। সুতরাং বলা যাইতে পারে, তলের ঘর্ষণজনিত বাধা ও বাতাসের বাধা সম্পূর্ণ অপসারণ করিতে পারিলে বস্তুর পক্ষে চিরকাল গতিশীল থাকা সম্ভব। কিন্তু, যেহেতু তলের ঘর্ষণজনিত বাধা ও বাতাসের বাধা সম্পূর্ণ অপসারণ করা সম্ভব নয় সেইজন্য কোনও বস্তুকে চিরকাল সমবেগে একই সরলরেখায় গতিশীল প্রত্যক্ষ করাও সম্ভব নয়। তাহা হইলে দেখা যাইতেছে, বস্তুমাত্রেই তাহার গতির অবস্থার (স্থিরবস্তুকে আমরা শূন্যবেগবিশিষ্ট গতিশীল বস্তু মনে করিতে পারি) পরিবর্তন করিতে অক্ষম। বস্তুর স্থিতাবস্থা বজায় রাখিবার এই চেষ্টাকে বস্তুর জড়ধর্ম (Inertia) বলে। গতির স্থিতাবস্থা বজায় রাখিবায় কয়েকটি উদাহরণ নিম্নে দেওয়া হইল।

উদাহরণ 1 : মনে করা যাক্, আরোহীসহ একটি ট্রামগাড়ি স্থির হইয়া দাঁড়াইয়া আছে। যদি ট্রামটি হঠাৎ ছাড়িয়া দেয় তাহা হইলে আরোহীরা প্রত্যেকে পিছনের দিকে হেলিয়া পড়িবে। ইহার কারণস্বরূপ বলা হয় ট্রামটি ছাড়ার সঙ্গে সঙ্গে প্রত্যেক আরোহীর শরীরের নিম্নাংশ হঠাৎ গতিশীল হয়। কিন্তু যেহেতু আরোহীরা পূর্বে স্থির অবস্থায় ছিল সুতরাং তাহাদের শরীরের নিম্নাংশ হঠাৎ গতিশীল হওয়া সত্ত্বেও উর্ধ্বাংশ স্থির অবস্থা বজায় রাখিবার চেষ্টা করে এবং সেইজন্য আরোহীরা পিছনের দিকে হেলিয়া পড়ে।

উদাহরণ 2 : মনে করা যাক, আরোহীসহ একখানি ট্রামগাড়ি সমবেগে সরলরেখায় চলিতেছে। গাড়িটি যদি হঠাৎ থামিয়া যায় তাহা হইলে আরোহীরা প্রত্যেকে সামনের দিকে হেলিয়া পড়িবে। ইহার কারণস্বরূপ বলা হয় যে, ট্রামটি থামিবার সঙ্গে সঙ্গে আরোহীদের প্রত্যেকের নিম্নাংশ গতিহীন হইল অথচ উর্ধ্বাংশ তখনও গতিশীল অবস্থায় আছে। সুতরাং আরোহীদের শরীরের উর্ধ্বাংশ সামনের দিকে (ট্রামের গতির দিকে) হেলিয়া পড়ে।

উদাহরণ 3 : কোনও একজন আরোহী চলন্ত ট্রামগাড়ি হইতে হঠাৎ নামিয়া পড়িলে সে সামনের দিকে ঝুঁকিয়া পড়ে এবং একটু অসতর্ক থাকিলে সামনের দিকে রাস্তার উপর পড়িয়া যাইতে পারে। ইহার কারণস্বরূপ বলা হয়, ট্রামগাড়ি হইতে নামিবার সঙ্গে সঙ্গে তাহার পা রাস্তার সংস্পর্শে আসায় গতি হারাইল। কিন্তু তাহার শরীরের উর্ধ্বাংশ তখনও গতিশীল আছে। সুতরাং সে সামনের দিকে (ট্রামের গতির দিকে) ঝুঁকিয়া পড়ে এবং অসতর্ক থাকিলে পড়িয়া যায়। সেইজন্য চলন্ত ট্রামগাড়ি হইতে নামিবার সময় পিছনে হেলিয়া নামিতে হয় এবং নামিবার পর অল্প কিছুদূর সামনের দিকে দৌড়াইয়া যাইতে হয়।

নিউটনের প্রথম বলসূত্রের দ্বিতীয় অংশ হইতে আমরা জানিতে পারি যে গতিশীল (বা স্থির) বস্তুর গতির অবস্থার পরিবর্তন করিতে বাহির হইতে বল প্রয়োগ করিতে হয়। সুতরাং নিউটনের এই সূত্র হইতে আমরা বলের গুণগত সংজ্ঞা পাই। আমরা বলিতে পারি **যাহা বস্তুর গতির অবস্থার বা স্থির অবস্থার পরিবর্তন করে বা করিবার চেষ্টা করে তাহাকে বল বা ফোর্স (Force) বলে।**

বস্তুর গতির অবস্থার পরিবর্তন করিতে গেলে বস্তুর গতির মান হ্রাস বা বৃদ্ধি করিতে হইবে কিংবা গতির দিক পরিবর্তন করিতে হইবে। গতির এইরূপ কোনও পরিবর্তন হইলে আমরা বলিতে পারি যে বস্তু ত্বরণ (বা মন্দন) সহ চলিতেছে। অতএব দেখা যাইতেছে, বস্তুতে বল ক্রিয়াশীল থাকাকালীন বস্তুটি আর সমবেগ-সহ চলে না, ত্বরণ বা মন্দন-সহ চলিতে থাকে অর্থাৎ **বল বস্তুতে ত্বরণ (বা মন্দন) সৃষ্টি করে।**

বস্তুর গতি পরিবর্তনের জন্য যে বল প্রয়োগ করা হইবে তাহা বাহির হইতে করিতে হইবে। বস্তুর ভিতরের কোনও বলের জন্য বস্তুর গতির কোনরূপ পরিবর্তন ঘটানো সম্ভব নয়। মনে করা যাক, কোনও লোক একটি চেয়ারে বসিয়া আছে এবং সে তাহার পা মাটির উপর না রাখিয়া চেয়ারের পায়ার সহিত জোড়া কোনও কাঠের উপর রাখিয়াছে। সে যদি নিজেকে চেয়ারসহ তুলিবার বা নাড়াইবার চেষ্টা করে তাহা হইলে শত চেষ্টা সত্ত্বেও সে তাহা পারিবে না, কিন্তু একটি বালক সামান্য চেষ্টা করিলেই তাহাকে চেয়ারসহ নাড়াইতে বা উলটাইতে পারে। ইহার কারণ, প্রথম ক্ষেত্রে বল প্রয়োগ **ভিতর** হইতে হইতেছে বলিয়া বস্তুর স্থানচ্যুতি সম্ভব হয় নাই, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বল প্রয়োগ **বাহির** হইতে হইতেছে বলিয়া স্থানচ্যুতি সম্ভব হইয়াছে।

দ্বিতীয় বলসূত্রের আলোচনা ঃ নিউটনের দ্বিতীয় বলসূত্র হইতে আমরা বলের পরিমাপক সংজ্ঞা (quantitative definition of force) বল পরিমাপের একক (unit of force), বল পরিমাপের প্রণালী (measurement of force) ও বলের নিরপেক্ষ নীতি (physical independence of force) সম্বন্ধে জানিতে পারি।

নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রে উল্লিখিত **ভরবেগ** বলিতে কি বুঝায় প্রথমে সে সম্বন্ধে আলোচনা করা হইতেছে।

মনে করা যাক্, একটি হালকা রবারের বল ও একটি ভারি লোহার বল একই বেগে চলিতেছে। যদি কেহ বল দুইটিকে থামাইবার বা গতিবেগ কমাইবার বা গতির দিক পরিবর্তন করার চেষ্টা করে তাহা হইলে লোহার বলের ক্ষেত্রে তাহাকে যথেষ্ট বাধা পাইতে হইবে কিন্তু রবারের বলকে সহজেই থামাইতে পারিবে। সুতরাং দেখা যাইতেছে, বেগ সমান হইলেও যাহার ভর বেশী তাহাকে সহজে থামান যায় না অর্থাৎ অধিক ভরবিশিষ্ট বস্তুটির বাধা অতিক্রম করার ক্ষমতা বেশী। আবার একই ভরবিশিষ্ট অথচ বিভিন্ন বেগ-সম্পন্ন দুইটি বস্তুকে থামাইবার চেষ্টা করিলে দেখা যাইবে যাহার বেগ বেশী তাহাকে থামাইতে বেশী বাধা পাইতে হইতেছে। সুতরাং বলিতে পারা যায়, ভর সমান হইলেও যে বস্তুর বেগ বেশী তাহার বাধা অতিক্রম করার ক্ষমতাও বেশী। অতএব বস্তুর বাধা অতিক্রম করার ক্ষমতা শুধু তাহার ভর বা তাহার বেগের উপর এককভাবে নির্ভর করে না, উভয়েরই উপর যুগ্মভাবে নির্ভর করে। বস্তুর যে-ধর্ম ভর ও বেগ এই দুইয়ের উপর নির্ভরশীল তাহাকে বস্তুর ভরবেগ (momentum) বলে। ভরবেগকে ভর ও বেগের গুণফল দ্বারা প্রকাশ করা হয়। ভরবেগের পরিমাণের দ্বারা বস্তুর বাধা অতিক্রম করার ক্ষমতা পরিমাপ করা যায়।

একক ভরবেগ ঃ একক ভরবিশিষ্ট কোনও বস্তু একক বেগে চলিলে তাহার ভরবেগকে একক ভরবেগ বলে।

এক পাউণ্ড ভরবিশিষ্ট কোনও বস্তু 1 ফুট প্রতি সেকেণ্ড গতিতে চলিলে তাহার ভরবেগই এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে একক ভরবেগ।

একগ্রাম ভরবিশিষ্ট কোনও বস্তু 1 সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড গতিতে চলিলে তাহার ভরবেগই সি. জি. এস. পদ্ধতিতে একক ভরবেগ।

ভরবেগের পরিবর্তন ও ভরবেগের পরিবর্তনের হার ঃ মনে করা যাক্, কোনও বস্তুর ভর m এবং বেগ u এবং t সেকেণ্ড পরে ইহার বেগ হইল v.

সুতরাং t সেকেণ্ডে বস্তুটির ভরবেগের পরিবর্তনের মান $= mv - mu$.

অতএব ভরবেগের পরির্তনের হার

= প্রতি সেকেণ্ডে ভরবেগের পরিবর্তন

$$= \frac{mv - mu}{t} = \frac{m(v-u)}{t} = mf \qquad (1)$$

বল-সমীকরণ : মনে করা যাক্, m ভরবিশিষ্ট কোনও বস্তু u সমবেগ-সহ চলিতেছে। ইহার উপর প্রযুক্ত বল P কিছুক্ষণ ক্রিয়াশীল থাকার ফলে ইহার বেগ v হইল। যদি প্রযুক্ত বল t সময় ব্যাপিয়া ক্রিয়াশীল থাকে তাহা হইলে নিউটনের দ্বিতীয় বলসূত্র অনুসারে—

প্রযুক্ত বল $P \propto$ ভরবেগে:

অর্থাৎ $P \propto \dfrac{mv - mu}{t}$

অথবা $P \propto \dfrac{m(v-u)}{t}$

$P \propto mf$

সুতরাং, $P = k\,m\,f$, যখন k একটি ধ্রুবক (2)

এখন একক ভরবিশিষ্ট বস্তুর উপর যে বল প্রয়োগে একক ত্বরণের সৃষ্টি হয় তাহাকে যদি **একক বল** ধরা হয় তাহা হইলে সমীকরণ (2) হইতে আমরা পাই

$1 = k.\,1.\,1$

অর্থাৎ $k = 1$

সুতরাং বলের উপরোক্ত সংজ্ঞা অনুসারে সমীকরণ (2)-কে এইরূপে লেখা যাইতে পারে :

$$\boldsymbol{P = mf} \qquad (3)$$

অর্থাৎ, **প্রযুক্ত বল = ভর × ত্বরণ**

অর্থাৎ বলা যাইতে পারে যে বস্তুর ভর ও প্রযুক্ত বল দ্বারা সৃষ্ট ত্বরণ মাপিতে পারিলেই বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাপ করা যাইতে পারে। সুতরাং নিউটনের দ্বিতীয় বলসূত্র হইতে আমরা বলের একক, বল মাপিবার প্রণালী ও বলের পরিমাপক সংজ্ঞা পাই। সমীকরণ (3) নিউটনের দ্বিতীয় বলসূত্রের মূলকথা প্রকাশ করিতেছে।

একক বলের সংজ্ঞা : যে বল প্রয়োগের দ্বারা একক-ভরবিশিষ্ট বস্তুতে একক ত্বরণের সৃষ্টি হয় তাহাকে একক বল বলে।

যে বল প্রয়োগের দ্বারা এক গ্রাম ভরবিশিষ্ট বস্তুতে এক সেণ্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড ত্বরণের সৃষ্টি হয় তাহাকে সি. জি. এস. এককের একক বল বলে। ইহাকে ডাইন (Dyne) বলা হয়।

যে বল প্রয়োগের দ্বারা এক পাউণ্ড ভরবিশিষ্ট বস্তুতে এক ফুট প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড ত্বরণের সৃষ্টি হয় তাহাকে এফ. পি. এস. এককের একক বল বলে। ইহাকে পাউণ্ডাল (Poundal) বলা হয়।

ডাইন ও পাউণ্ডালের সম্পর্ক ঃ

$$\frac{\text{এক পাউণ্ডাল}}{\text{এক ডাইন}} = \frac{\text{এক পাউণ্ড} \times \text{এক ফুট প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড}}{\text{এক গ্রাম} \times \text{এক সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড}}$$

$$= \frac{(453{\cdot}6\text{গ্রাম}) \times (30{\cdot}48 \text{ সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড})}{\text{এক গ্রাম} \times \text{এক সে. মি প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড}}$$

$$= \frac{453{\cdot}6 \times 30{\cdot}48 \times (\text{এক গ্রাম} \times \text{এক সে. মি. প্রতি সে.}^2)}{(\text{এক গ্রাম} \times \text{এক সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড}^2)}$$

$$= 453{\cdot}6 \times 30{\cdot}48 = 13825 \text{ (প্রায়)}$$

সুতরাং এক পাউণ্ডাল $= 13825 \times$ এক ডাইন $= 13825$ ডাইন।

বলের নিরপেক্ষ নীতি ঃ নিউটনের দ্বিতীয় বলসূত্রের দ্বিতীয় অংশ হইতে আমরা জানি যে, বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তনের হার প্রযুক্ত বলের দিকেই হয়। একটি বস্তুর উপর যদি বিভিন্ন বল ক্রিয়া করে তাহা হইলে প্রত্যেক বলই তাহার নিজস্ব দিকে বস্তু ভরবেগের পরিবর্তন ঘটাইবে। একের পরিবর্তন অন্যের দ্বারা কোনরূপ প্রভাবিত হইবে না।

তৃতীয় বলসূত্রের আলোচনা ঃ নিউটনের তৃতীয় বলসূত্র হইতে আমরা বল ও তাহার প্রতিক্রিয়া সম্বন্ধে জানিতে পারি। কোনও বস্তু অপর কোনও বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করিলে দ্বিতীয় বস্তুটি প্রথম বস্তুর উপর বিপরীত দিকে সমান বল প্রয়োগ করিয়া থাকে। পরস্পর এই বল প্রয়োগের দ্বারা উভয়েরই গতির পরিবর্তন হইতে পাবে। নিম্নে এই বলসূত্রের কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া হইল।

প্রথম উদাহরণ ঃ মনে করা যাক্, টেবিলের উপর একটি বই আছে। বইটি নিম্নদিকে টেবিলের উপর বলপ্রয়োগ করিতেছে এবং টেবিলটি বইটিতে ঊর্ধ্বদিকে সমান পরিমাণে বল প্রয়োগ করিতেছে। এক্ষেত্রে যদি একটি মাত্র বল আছে অপরটি নাই কল্পনা করা যায়, তাহা হইলে বইটি টেবিলের উপর স্থির থাকিতে পাবে না।

দ্বিতীয় উদাহরণ ঃ মনে করা যাক্, বরফের উপর লোহার চাকাওলা জুতা পরিয়া দুইজন লোক A ও B কাছাকাছি দাঁড়াইয়া আছে। A যদি B-কে ঠেলিয়া দেয় তাহা হইলে দেখা যাইবে যে উভয়েই বিপরীত দিকে চলিতেছে। যদি উভয়ের ভর সমান হয়, তাহা হইলে উভয়ের গতিও সমান হইবে। যদি ভর অসমান হয়, তাহা হইলে যাহার ভর বেশী তাহার গতি কম ও যাহার ভর কম তাঁহার গতি বেশী হইবে। এক্ষেত্রে A-র প্রযুক্ত বলের দ্বারা B-র গতি ও B-র প্রযুক্ত প্রতিবলের দ্বারা A-র গতি সৃষ্টি হইয়াছে।

গোলা ছুড়িবার পর কামানের হঠিয়া আসা, ঘোড়ার গাড়ি টানা, মানুষের চলা, হাউইয়ের উপরে উঠা প্রভৃতি বিভিন্ন ঘটনা বল ও তাহার প্রতিবলের ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার দ্বারা ঘটিয়া থাকে।

ভরবেগের নিত্যতা (Conservation of momentum) ঃ নিউটনের তৃতীয় সূত্রের সাহায্যে প্রমাণ করা যায় যে দুইটি বস্তু পরস্পর বল প্রয়োগ দ্বারা

তাহাদের উভয়ের মোট ভরবেগের কোনও পরিবর্তন করিতে পারে না। ইহাকে ভরবেগের নিত্যতা বলে। মনে করা যাক্ m_1 ভরবিশিষ্ট একটি বস্তু u_1 বেগ লইয়া চলিতে চলিতে m_2 ভরবিশিষ্ট ও u_2 বেগসম্পন্ন একটি বস্তুকে ধাক্কা দিল। ইহার ফলে উভয়েরই বেগের পরিবর্তন হইল। পরিবর্তিত বেগ যথাক্রমে v_1, ও v_2 হইলে নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুসারে আমরা পাই,

দ্বিতীয় বস্তুটির উপর প্রথম বস্তুটির বলের ক্রিয়া=(−) প্রথম বস্তুটির উপর দ্বিতীয় বস্তু দ্বারা সৃষ্ট বলের প্রতিক্রিয়া

সুতরাং দ্বিতীয় বস্তুটির ভরবেগের পরিবর্তনের হার=(−) প্রথম বস্তুটির ভরবেগের পরিবর্তনের হার

যেহেতু বল ও প্রতিবল উভয়েই একই সময় ব্যাপিয়া ক্রিয়াশীল—

সুতরাং দ্বিতীয় বস্তুটির ভরবেগের পরিবর্তন=(−) প্রথম বস্তুটির ভরবেগের পরিবর্তন

অর্থাৎ $$m_2(v_2-u_2)=-m_1(v_1-u_1)$$

অর্থাৎ $$m_1u_1+m_2u_2=m_1v_1+m_2v_2 \qquad (4)$$

সুতরাং বলা যাইতে পারে যে ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার পূর্বে বস্তু দুইটির সমগ্র ভরবেগের পরিমাণ, ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার পর বস্তু দুইটির সমগ্র ভরবেগের পরিমাণের সমান। সমীকরণ (4) ভরবেগের নিত্যতা প্রকাশ করিতেছে।

উদাহরণ 1 : 2 কিলোগ্রাম ভরবিশিষ্ট একটি বস্তুর উপর 5সে. মি/সেকেণ্ড/সেকেণ্ড ত্বরণ উৎপন্ন করিতে কত বলের প্রয়োজন হইবে ?

$P=mf=(2\times1000)$ গ্রাম $\times 5$ সে. মি/সেকেণ্ড/সেকেণ্ড

$=$ **10,000** ডাইন

উদাহরণ 2 : একটি গতিশীল বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করায় উহার বেগ 12 ফুট প্রতি সেকেণ্ড হইতে 4 সেকেণ্ডে 4 ফুট প্রতি সেকেণ্ড হইল। বস্তুটির ভর 5 পাউণ্ড হইলে বলের পরিমাণ কত ?

বস্তুটির আদিবেগ $u=12$ ফুট/সে.

অন্তবেগ $v=4$ ফুট/সে.

$t=4$ সে.

সুতরাং $v=u+ft$ সূত্রে এই সকল মান লিখিয়া :

$$4=12+f\times4$$

বা, $4f=4-12=-8$

$$f=\frac{-8}{4}=-2$$

f-এর মানে নেগেটিভ চিহ্ন হইতে বুঝা যাইতেছে f এখানে মন্দন।

∴ বলের পরিমাণ$=m.\ f=5$ পাউণ্ড $\times 2$ ফুট/সে./সে.

$=$ **10** পাউণ্ডাল

উদাহরণ 3 : 2 পাউণ্ড ওজনের একটি স্থির বস্তুর উপর 15 পাউণ্ডাল বল প্রয়োগ করিলে 1 মিনিটে বস্তুটি কত দূরত্ব অতিক্রম করিবে ?

$P=m.f.$ সূত্রে প্রশ্নানুসারে $P=15$ পাউণ্ডাল এবং $m=2$ পাউণ্ড।

$\therefore \quad 15=2\times f$

বা, $\quad f=\frac{15}{2}$ ফুট/সেকেণ্ড^2

এখন $S=ut+\frac{1}{2}ft^2$ সূত্রে $u=0, f=\frac{15}{2}$ ফুট/সেকেণ্ড^2 এবং

$t=1$ মিনিট$=60$ সেকেণ্ড

$\therefore \quad S=0+\frac{1}{2}\times\frac{15}{2}\times(60)^2$ ফুট$=$ **13500** ফুট

উদাহরণ 4 : ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে ধাবমান 600 পাউণ্ড ওজনের একখানি মোটর গাড়িতে ব্রেক প্রয়োগ করায় 32 ফুট চলিবার পর গাড়িটি থামিয়া গেল। ব্রেকের দ্বারা প্রযুক্ত গড় বলের পরিমাণ কত ?

প্রথমে ব্রেকের দ্বারা উৎপন্ন মন্দন বাহির করিতে হইবে।

$v^2=u^2+2fs$ সূত্রে প্রশ্নানুসারে,

$u=30$ মাইল/ঘণ্টা$=30\times\frac{22}{15}$ ফুট/সে.$=44$ ফুট/সে.,

$v=0$ এবং $S=32$ ফুট।

$\therefore \quad 0=(44)^2+2.(-f)\times 32$

[f-এ নেগেটিভ চিহ্নের কারণ f এখানে মন্দন]

বা, $\quad 64f=(44)^2$; $\quad \therefore \quad f=\frac{(44)^2}{64}=\frac{121}{4}$ ফুট/সেকেণ্ড^2

সুতরাং গড় বল$=m.f.=600\times\frac{121}{4}$ পাউণ্ডাল

$=$ **18150** পাউণ্ডাল

সারাংশ

নিউটনের বলসূত্র : (1) বাহির হইতে বল প্রয়োগ না করিলে বস্তুর স্থিতি বা গতি অপরিবর্তিত থাকে। স্থিরবস্তু চিরকালই স্থির অবস্থায় থাকে এবং সরলরেখায় সমবেগে চলমান বস্তু চিরকাল অপরিবর্তিত বেগে চলিতে থাকে।

(2) বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তনের হারের সমানুপাতী এবং প্রযুক্ত বলের দিকে বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তন ঘটে।

(3) প্রত্যেক প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ার সমান ও বিপরীতমুখী প্রতিক্রিয়া আছে।

বল সমীকরণ : $P=mf$

একক বল : একক ভরবিশিষ্ট বস্তুর উপর যে বল প্রয়োগের দ্বারা একক ত্বরণের সৃষ্টি হয় তাহাকে একক বল বলে।

এক পাউণ্ডাল : এক পাউণ্ড ভারবিশিষ্ট বস্তুর উপর যে বল প্রয়োগের দ্বারা এক ফুট প্রতি সেকেণ্ড^2 ত্বরণের সৃষ্টি হয় তাহাকে এক পাউণ্ডাল বলে।

এক ডাইন : এক গ্রাম ভরবিশিষ্ট বস্তুর উপর যে বল প্রয়োগের দ্বারা এক সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড^2 ত্বরণের সৃষ্টি হয় তাহাকে এক ডাইন বলে।

ভরবেগের নিত্যতা : দুইটি বস্তু পরস্পরের ক্রিয়া ও প্রক্রিয়া দ্বারা উভয়ের মোট ভরবেগের কোনও পরিবর্তন সাধন করিতে পারে না।

অনুশীলনী

1. *State and explain Newton's Laws of Motion.*

2. *Define : momentum, force, poundal and dyne. Find the relation between a poundal and a dyne.*

3. *The masses and acceleration or retardation are given below. Find the force in each case :*

(*i*) $m=5$ pound, $f=4$ c.m. per sec^2,

(*ii*) $m=100$ gm., $f=2$ ft. per sec^2,

(*iii*) $m=5$ kilo, $f=6$ ft. per sec^2,

4. *If a force of 7252 dynes act on a mass of I kilogram, what is the acceleration produced ? How far the body moves in 7 seconds ?*

5. *The velocity of a body of mass 5 pounds changes from 10 ft. per sec. to 4 ft. per second. Find the acceleration and change of momentum produced.*

6. *If a force of 5 poundals acts on a mass of 2 oz., what is the acceleration ? What distance the body will describe from rest in 5 seconds ?*

7. *A motor car of mass one ton is moving at the rate of 45 miles per hour. Find the average force required to stop it within a distance of 100 ft.*

॥ উত্তর ॥

3. (*i*) 9072 ডাইন,
   (*ii*) 6096 ডাইন,
   (*iii*) 66·1 পাউণ্ডাল,
4. 7·252 সে.মি/সে^{2}., 177·674 সে. মি.,
5. -2 ফুট/সে^{2}., 30 এফ. পি. এস. একক,
6. 40 ফুট/সে^{2}., 500 ফুট. 7. 48787·2 পাউণ্ডাল।

চতুর্থ অধ্যায়

মহাকর্ষ ও অভিকর্ষ

[Gravitation and Gravity]

সৌরমণ্ডলের বিভিন্ন গ্রহগুলির সূর্যের চারিদিকে আবর্তনের কারণ ব্যাখ্যা করার জন্য বিখ্যাত বৈজ্ঞানিক নিউটন (Newton) পরস্পর যোগসূত্রহীন দুইটি বস্তুর মধ্যে এক আকর্ষণ-বলের কল্পনা করেন। তিনি এই বলের নাম দিয়াছেন **মহাকর্ষ** (Gravitation)। তিনি বলিয়াছেন, "বিশ্বপ্রকৃতির সকল বস্তুকণাই পরস্পরকে আকর্ষণ করে। এই আকর্ষণ-বলের পরিমাণ বস্তুকণা দুইটির ভরের গুণফলের সমানুপাতিক এবং তাহাদের উভয়ের দূরত্বের বর্গের ব্যস্ত সমানুপাতী" (*Every particle of matter attracts every other particle in the universe with a force which varies directly as the product of their masses and inversely as the square of the distance between them.*) ইহাকে নিউটনের মহাকর্ষ-তত্ত্বের সূত্র [*Law of Gravitation*] বলে।

মনে করা যাক, দুইটি বস্তুর ভর যথাক্রমে m_1, ও m_2 এবং উহাদের পরস্পরের দূরত্ব d, নিউটনের মহাকর্ষ-সূত্র অনুসারে ইহাদের পরস্পর আকর্ষণ-বল যদি F হয় তাহা হইলে—

$$F \propto m_1 m_2 \text{ এবং } F \propto \frac{1}{d^2}$$

সুতরাং $$F \propto \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

অতএব $$F = G.\frac{m_1 m_2}{d^2}, \quad [\ G \text{ একটি ধ্রুবক }] \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

নিউটনের মহাকর্ষ-সূত্রকে উপরোক্ত সমীকরণদ্বারা প্রকাশ করা হয়। এই সমীকরণে G একটি ধ্রুবক। পরীক্ষা করিয়া এই ধ্রুবকের পরিমাণ পাওয়া গিয়াছে $6{\cdot}664 \times 10^{-8}$ (C.G.S.) এবং ইহাকে মহাকর্ষীয় ধ্রুবক (constant of Gravitation) বলে। ইহা পরস্পর এক সেণ্টিমিটার দূরে অবস্থিত এক গ্রাম ভরবিশিষ্ট দুইটি বস্তুর মধ্যে আকর্ষণ-বলের পরিমাণ নির্দেশ করে।

আমরা জানি, কোনও ঢিলকে উপরে ছুড়িলে অল্পক্ষণ পরেই তাহা মাটিতে নামিয়া আসে। ফল পাকিয়া বৃন্তচ্যুত হইলেই তাহা মাটিতে পড়িয়া যায়। এই সমস্ত ঘটনার ব্যাখ্যাও নিউটনের মহাকর্ষ-তত্ত্বের সাহায্যে করা হয়। পৃথিবী তাহার উপরিস্থিত সকল বস্তুকেই কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করিতেছে। সেই জন্যই উৎক্ষিপ্ত বস্তুমাত্রেই মাটিতে নামিয়া আসে ও বৃন্তচ্যুত ফল মাটিতে পড়ে। পরীক্ষা দ্বারা জানা গিয়াছে, এই আকর্ষণের জন্য সকল বস্তুই সমত্বরণে পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে অগ্রসর হইতেছে এবং এই সমত্বরণের পরিমাণ 32 ফুট

প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড (F. P. S.) বা 981 সেণ্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড (C. G. S.) পৃথিবীর এই আকর্ষণ-বলকে **অভিকর্ষ** বলে এবং আকর্ষণসৃষ্ট ত্বরণকে **অভিকর্ষজ ত্বরণ** (acceleration due to gravity) বলে। সাধারণত ইহাকে 'g' দ্বারা সূচিত করা হয়। পরীক্ষা দ্বারা আরও প্রমাণিত হইয়াছে যে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান পৃথিবী-পৃষ্ঠে সর্বত্র সমান নয়। নিরক্ষরেখায় ইহার মান 978 সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড এবং মেরু-বিন্দুদ্বয়ে ইহার পরিমাণ 983 সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড। সাধারণ কার্যের জন্য ইহার মান **981 সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড** বা **32 ফুট প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড** লওয়া হয়। পৃথিবীর পৃষ্ঠতল হইতে উপরে (পাহাড়ে) উঠিলে বা নীচে (খনিতে) নামিলে ইহার মান কমিয়া যায়।

পতনশীল বস্তু সম্বন্ধীয় সূত্র

[Laws of falling bodies]

পতনশীল বস্তু মাটিতে পড়ার সময় কি নিয়ম অনুসরণ করে তাহা মানুষ বহুদিন পূর্ব হইতেই সন্ধান করার চেষ্টা করিয়াছে। অ্যারিস্টট্‌লের মতবাদ ছিল যে পতনশীল বস্তুর দ্রুতি তাহার ওজনের উপর নির্ভর করে। আমরা জানি যে একটি ঢিল ও একটি কাগজের টুকরাকে যদি একসঙ্গে উপর হইতে নীচে ফেলিয়া দেওয়া হয়, তাহা হইলে ঢিল দ্রুত নীচে নামিয়া আসে এবং কাগজটি ধীরে ধীরে মাটির দিকে নামে। বিখ্যাত ইতালীয় বৈজ্ঞানিক গ্যালিলিও (Galilio) পিসার হেলানো মিনার (leaning tower of Pisa) হইতে বিভিন্ন উপাদানের ও আকারের বল ফেলিয়া প্রমাণ করিয়াছেন যে সকল বলই মাটিতে পৌছাইতে প্রায় একই সময় লইয়া থাকে। একখানি কাগজ বিস্তৃত অবস্থায় ফেলিয়া দিলে মাটিতে পৌছাইতে যে সময় লইয়া থাকে জড়ানো বা পাকানো অবস্থায় ফেলিলে তাহা অপেক্ষা কম সময় লয়। ইহার কারণস্বরূপ গ্যালিলিও বলিয়াছেন যে বাতাসের বাধার (resistance of air) জন্যই এইরূপ হয়। বাতাসের বাধা অপসারণ করিতে পারিলে অর্থাৎ বায়ুশূন্য স্থানে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে কাগজটি বিস্তৃত এবং জড়ানো দুই অবস্থাতেই মাটিতে পড়িতে একই সময় লইতেছে। তিনি আরও বলিলেন পিসার পরীক্ষায় বিভিন্ন বলের পতন-সময়ের মধ্যে যে সামান্য পার্থক্য আছে, বায়ুশূন্য স্থানে পরীক্ষা করিলে তাহা দূরীভূত হইবে অর্থাৎ সকল বস্তুই বায়ুশূন্য স্থানে সমান উচ্চতা হইতে মাটিতে পড়িতে একই সময় লইবে। গ্যালিলিওর যুগে বায়ুনিষ্কাশন যন্ত্রের উদ্ভাবন হয় নাই। পরবর্তীকালে বায়ুনিষ্কাশন যন্ত্র আবিষ্কৃত হইলে নিউটন গ্যালিলিওর এই মতবাদ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন। এই বিষয়ে তিনি যে পরীক্ষা করিয়াছিলেন তাহা **গিনি ও পালকের পরীক্ষা** (Guinea and Feather experiment) নামে পরিচিত। গ্যালিলিও পতনশীল বস্তু সম্বন্ধে পূর্বোক্ত নিয়ম ছাড়া আরও দুইটি নিয়ম আবিষ্কার করেন। এই সূত্র তিনটিকে পতনশীল বস্তু সম্বন্ধীয় সূত্র (Laws of falling bodies) বলে। সূত্র তিনটি পর পর দেওয়া হইল :

পতনশীল বস্তু সম্বন্ধীয় সূত্র

[Laws of falling bodies]

পরীক্ষা দ্বারা গ্যালিলিও প্রমাণ করেন যে কোনও বস্তু স্থির অবস্থা হইতে বিনা বাধায় বায়ুশূন্য স্থানে উপর হইতে নীচে পড়িলে নিম্নলিখিত তিনটি নিয়ম অনুসরণ করিয়া থাকে—

(1) **পতনশীল বস্তুমাত্রেই সমান সময়ের ব্যবধানে সমান দূরত্ব অতিক্রম করে।**

(2) **কোনও নির্দিষ্ট সময়ে পতনশীল বস্তু যে বেগ অর্জন করে তাহা ঐ সময়ের সমানুপাতী।**

(3) **কোনও নির্দিষ্ট সময়ে পতনশীল বস্তু যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা ঐ সময়ের বর্গের সমানুপাতী।**

প্রথম সূত্রের আলোচনা পূর্বেই করা হইয়াছে। এই সূত্র অনুসারে বিভিন্ন বস্তুর বায়ুশূন্য স্থানে স্থির অবস্থা হইতে বিনা বাধায় উপর হইতে নীচে পড়িলে সমান সময়ের অবকাশে সমান দূরত্ব অতিক্রম করিবে। যেহেতু নিউটনের মহাকর্ষ-তত্ত্ব অনুসারে বস্তুমাত্রেই পতনসময়ে অভিকর্ষজ ত্বরণসহ ভূকেন্দ্রের দিকে অগ্রসর হয়, সুতরাং বলা যায় যে বিভিন্ন পতনশীল বস্তুর অভিকর্ষজ ত্বরণ একই হইবে। একটি পাথরকে উপর হইতে নীচে ফেলিয়া দিলে তাহা যে অভিকর্ষজ ত্বরণসহ নামিয়া আসিবে অন্যান্য বস্তুও ঐ একই ত্বরণসহ মাটির দিকে নামিবে।

দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে পতনশীল বস্তুর অর্জিত বেগ তাহার সময়ের সমানুপাতী অর্থাৎ স্থির অবস্থা হইতে বায়ুশূন্য স্থানে বিনা বাধায় কোনও বস্তু উপর হইতে নীচে পড়িলে নির্দিষ্ট সময়ের অবকাশে উহা যে বেগ অর্জন করে, সেই অর্জিত বেগ ও সময়ের অবকাশের ভাগফল প্রতিক্ষেত্রেই সমান। যদি কোনও বস্তু পতনকালে t_1, t_2,·········প্রভৃতি সময়ের অবকাশে v_1, v_2,··············
······প্রভৃতি বেগ অর্জন করে, তাহা হইলে দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে

$$\frac{v_1}{t_1} = \frac{v_2}{t_2} = \cdots\cdots\cdots$$

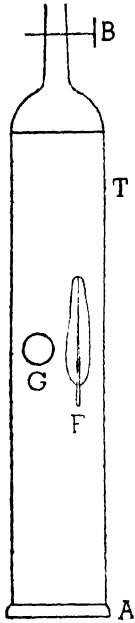
ইহা হইতে বলা যাইতে পারে যে, কোনও বস্তু এক সেকেণ্ডে যদি v বেগ অর্জন করে তাহা হইলে দুই সেকেণ্ডে তাহার বেগ হইবে $2v$, তিন সেকেণ্ড পরে বেগ হইবে $3v$ ইত্যাদি।

তৃতীয় সূত্র অনুসারে পতনশীল বস্তুর অতিক্রান্ত দূরত্ব তাহার সময়ের বর্গের সমানুপাতী অর্থাৎ স্থির অবস্থা হইতে বায়ুশূন্য স্থানে বিনা বাধায় কোনও বস্তু উপর হইতে নীচে পড়িলে নির্দিষ্ট সময়ের অবকাশে উহা যে দূরত্ব অতিক্রম করে সেই অতিক্রান্ত দূরত্ব ও সময়ের অবকাশের বর্গের ভাগফল প্রতিক্ষেত্রেই সমান। যদি কোনও বস্তু পতনকালে t_1, t_2······প্রভৃতি সময়ের অবকাশে

h_1, h_2,… …প্রভৃতি দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা হইলে তৃতীয় সূত্র অনুসারে ইহা হইতে বলা যায়

$$\frac{h_1}{t_1^2}=\frac{h_2}{t_2^2}=\ldots\ldots\ldots$$

সুতরাং বলা যায় কোনও বস্তু এক সেকেণ্ডে h দূরত্ব অতিক্রম করিলে দুই সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব হইবে $4h$ তিন সেকেণ্ডে $9h$, ইত্যাদি।

১৮নং চিত্র :
A = স্ক্রু-ক্যাপ
B = স্টপকক্
G = গিনি
F = পালক
T = নল

প্রথম সূত্রের পরীক্ষা বা **গিনি ও পালকের পরীক্ষা**

গিনি ও পালকের পরীক্ষায় ব্যবহৃত সরঞ্জামের চিত্র ও তাহার বিভিন্ন অংশের সূচী পার্শ্বে দেওয়া হইল।

(1) স্ক্রু-ক্যাপ (screw-cap) দ্বারা একমুখ বন্ধ ও অপর দিকে স্টপকক্ (stop-cock) সংযুক্ত প্রায় এক মিটার লম্বা ও মোটা (প্রায় চার সেন্টিমিটার ব্যাসবিশিষ্ট) একটি কাঁচের নল লওয়া হইল।

(2) স্ক্রু-ক্যাপ খুলিয়া নলটির মধ্যে একটি গিনি (ভারীবস্তু) ও একটি পালক (হালকা বস্তু) রাখিয়া স্ক্রু-ক্যাপ আঁটিয়া দেওয়া হইল।

(3) স্টপকক্ খোলা অবস্থায় নলটিকে বায়ুনিষ্কাশন পাম্পের সহিত সংযুক্ত করিয়া ইহাকে প্রায় বায়ুশূন্য করা হইল।

(4) এইবার নলটিকে **উলটাইলে** দেখা যাইবে যে নলের মধ্যস্থিত গিনি ও পালক একত্রে নীচে পড়িতেছে। যতবারই নলটিকে উলটানো হউক না কেন প্রতিবারেই দেখা যাইবে যে গিনি ও পালক উভয়েই একত্রে নলের অপর প্রান্তে পৌছাইতেছে।

(5) ইহার পর নলের সহিত পাম্পের সংযোগ বিচ্ছিন্ন করা হইল। স্টপককের মুখ খোলা থাকার জন্য বাহিরের বায়ু নলের ভিতরে প্রবেশ করিবে অর্থাৎ নলটি বায়ুপূর্ণ হইবে।

(6) এইবার নলটিকে উলটাইলে দেখা যাইবে যে নলের মধ্যস্থিত গিনি ও পালক পূর্বের মতো একত্রে পড়িতেছে না। নলের অপর প্রান্তে পৌছাইতে গিনির কম সময় ও পালকের বেশী সময় লাগিতেছে।

উপরে বর্ণিত পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইল যে, **বায়ুশূন্য স্থানে স্থির অবস্থা হইতে বিনা বাধায়** কোনও বস্তু উপর হইতে নীচে পড়িলে তাহা সমান সময়ের অবকাশে একই দূরত্ব অতিক্রম করে অর্থাৎ প্রত্যেক পতনশীল বস্তুর অভিকর্ষজ ত্বরণ একই হয়। দ্বিতীয় ও তৃতীয় সূত্র গ্যালিলিও নিজেই মসৃণ নত তলের (smooth inclined plane) সাহায্যে প্রমাণ করিয়াছিলেন।

পতনশীল বস্তু সম্বন্ধীয় সমীকরণ

সমত্বরণসহ চলমান বস্তুর গতি সম্বন্ধীয় সমীকরণ সম্বন্ধে পূর্বেই আলোচনা করা হইয়াছে। যেহেতু পতনশীল বস্তু মাত্রেই অভিকর্ষজ সমত্বরণে নীচে নামিয়া থাকে সুতরাং গতি সম্বন্ধীয় সমীকরণগুলি এক্ষেত্রেও প্রযোজ্য। গতি সম্বন্ধীয় সমীকরণগুলিতে f-এর স্থলে g, s-এর স্থলে h (height) ও u-এর স্থলে শূন্য (zero) লিখিলেই পতনশীল বস্তুর গতি সম্বন্ধীয় সমীকরণ পাওয়া যাইবে। নিম্ন হইতে কোনও বস্তুকে উর্ধ্বাধভাবে (vertical) উৎক্ষেপণ করিলে বস্তুর প্রাথমিক বেগ (u) থাকা প্রয়োজন; সে ক্ষেত্রে সমীকরণগুলিতে u-এর স্থলে শূন্য লেখা চলিবে না, প্রাথমিক বেগের মান লিখিতে হইবে। উর্ধ্বাধভাবে উৎক্ষিপ্ত বা পতনশীল বস্তুর গতিপথ উর্ধ্বাধ প্রসারিত সরলরেখা হইয়া থাকে কিন্তু অন্য দিকে উৎক্ষিপ্ত বস্তুর গতিপথ পরাবৃত্ত (parabola) হয়। রাস্তায় জল দিবার সময় পাইপ হইতে নির্গত জলধারার পথ, অনুভূমিক তলের সহিত সমকোণ অপেক্ষা কম কোণে নিক্ষিপ্ত ঢিলের গতিপথ ও কামান হইতে নিক্ষিপ্ত গোলার পথ লক্ষ্য করিলেই ইহা বুঝা যাইবে।

পূর্বে বর্ণিত যুক্তি অনুসারে পতনশীল বস্তুর পক্ষে প্রযোজ্য সমীকরণগুলিকে এইরূপ লেখা যাইতে পারে:

$$v=gt \qquad (1)$$
$$h=\frac{1}{2}gt^2 \qquad (2)$$
$$v^2=2gh \qquad (3)$$

উৎক্ষিপ্ত বস্তুর গতি সম্বন্ধীয় সমীকরণ

উর্ধ্বাধভাবে উৎক্ষিপ্ত বস্তুর গতিসম্বন্ধীয় সমীকরণগুলিকে এইভাবে লেখা যাইতে পারে।

$$v=u-gt \qquad (4)$$
$$h=ut-\frac{1}{2}gt^2 \qquad (5)$$
$$v^2=u^2-2gh \qquad (6)$$

যেহেতু উৎক্ষিপ্ত বস্তুর পক্ষে পৃথিবীর আকর্ষণ মন্দনের সৃষ্টি করে সুতরাং সমীকরণগুলিতে g-এর পূর্বে নেগেটিভ চিহ্ন ব্যবহার করা হইয়াছে।

উৎক্ষিপ্ত বস্তুর (১) সর্বোচ্চ উচ্চতায় উঠিবার সময়, (২) উৎক্ষেপণ বিন্দুতে পুনরায় ফিরিয়া আসার সময় এবং (৩) সর্বোচ্চ উচ্চতার পরিমাণ।

মনে করা যাক, কোনও বস্তুকে u প্রাথমিক বেগ (initial velocity) সহ উর্ধ্বাধভাবে ছুড়িয়া দেওয়া হইল এবং t সময় পরে বস্তুটির বেগ হইল v. অভিকর্ষজ ত্বরণ বস্তুর প্রাথমিক বেগের বিপরীত দিকে ক্রিয়াশীল হওয়ায় বস্তুর গতি ক্রমশ কমিয়া আসিবে। সুতরাং যে কোনও সময়ে বস্তুটির বেগ $v=u-gt$ এই সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যাইতে পারে। সর্বোচ্চ উচ্চতায় উঠিবার পর বস্তুটি পৃথিবীর আকর্ষণে আবার নীচে নামিতে থাকিবে। সুতরাং

বলা যাইতে পারে সর্বোচ্চ উচ্চতায় বস্তুটি মুহূর্তের জন্য স্থির থাকে অর্থাৎ সর্বোচ্চ উচ্চতায় বস্তুটির বেগ $v=o$.

সুতরাং $u-gt=v=o$

$$\therefore \quad t = \frac{u}{g} \qquad (7)$$

উৎক্ষিপ্ত বস্তুটি t সময় পরে যদি উর্ধ্বদিকে h দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা হইলে বস্তুটির গতি সমীকরণ $h=ut-\frac{1}{2}gt^2$ হইবে। বস্তুটি উৎক্ষেপণ বিন্দুতে পুনরায় ফিরিয়া আসিলে বস্তুর সরণ (h) শূন্য হইবে।

সুতরাং $ut-\frac{1}{2}gt^2=o$

অথবা, $t\ (u-\frac{1}{2}gt)=o$

অর্থাৎ, $t=o$, অথবা, $t=\frac{2u}{g}$ (8)

এখানে $t=\frac{2u}{g}$, বস্তুটির যাত্রার শুরু হইতে পুনরায় উৎক্ষেপণ বিন্দুতে ফিরিয়া আসার মোট সময় নির্দেশ করিতেছে এবং $t=o$ উৎক্ষেপণের মুহূর্ত বা সময় গণনার আরম্ভ বুঝাইতেছে।

যেহেতু সর্বোচ্চ উচ্চতায় বস্তুটির বেগ $v=o$ অতএব ষষ্ঠ সমীকরণ হইতে আমরা পাই, $u^2-2gh=v^2=o$, অথবা, $h=\frac{u^2}{2g}$.

উদাহরণ 1 : কোনও বস্তুকে 64 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে প্রাথমিক বেগসহ উর্ধ্বাধভাবে উপরে ছুড়িয়া দেওয়া হইল। বস্তুটির সর্বোচ্চ উচ্চতায় উঠিতে কত সময় লাগিবে? বস্তুটি উৎক্ষেপণ বিন্দুতে পুনরায় ফিরিয়া আসিতে কত সময় লইবে? বস্তুটির সর্বোচ্চ উচ্চতার মান কত?

আমরা জানি, কোনও বস্তুকে u প্রাথমিক বেগসহ উর্ধ্বাধভাবে উর্ধ্বে ছুড়িয়া দিলে বস্তুটির সর্বোচ্চ উচ্চতায় উঠিবার সময়$=\frac{u}{g}$, উৎক্ষেপণ বিন্দুতে পুনরায় ফিরিয়া আসার সময়$=\frac{2u}{g}$ এবং সর্বোচ্চ উচ্চতার মান$=\frac{u^2}{2g}$.

প্রশ্নানুসারে $u=64$ ফুট প্রতি সেকেণ্ড, এবং এফ. পি. এস. (F. P. S.) এককে অভিকর্ষজ ত্বরণের (g) মান$=32$ ফুট প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড।

সুতরাং সর্বোচ্চ উচ্চতায় উঠিবার সময়$=\frac{u}{g}=\frac{64}{32}=2$ সেকেণ্ড

উৎক্ষেপণ বিন্দুতে পুনরায় ফিরিয়া আসার সময়

$$=\frac{2u}{g}=\frac{2\times 64}{32}=4 \text{ সেকেণ্ড।}$$

$$\text{সর্বোচ্চ উচ্চতা}=\frac{u^2}{2g}=\frac{64\times 64}{2\times 32}=64 \text{ ফুট।}$$

উদাহরণ 2 : একটি পাথরকে কোনও স্তম্ভের উপর হইতে ফেলিয়া দেওয়া হইল। 100 ফুট পড়িতে পাথরটির কত সময় লাগিবে ?

$h=\frac{1}{2}gt^2$ সূত্রে প্রশ্নানুসারে $h=100$ ফুট

$g=32$ ফুট/সে.^{2}

সুতরাং, $100=\frac{1}{2}\times 32t^2 \;=16t^2$

অথবা, $t^2=\frac{100}{16}$ বা, $t=\frac{10}{4}$ সে $=\mathbf{2\frac{1}{2}}$ সে.

উদাহরণ 3 : একটি পাথর 80 ফুট প্রতি সেকেণ্ড বেগে উপরের দিকে ছুড়িয়া দিলে কতক্ষণ পরে উহা 96 ফুট উচ্চতা অতিক্রম করিবে ?

প্রশ্নানুসারে $u=80$ ফুট/সে.. $g=32$ ফুট/সে.

এবং $h=96$ ফুট

$\therefore$ $h=ut-\frac{1}{2}gt^2$ সূত্রে এই সকল মান লিখিয়া :

$96=80t-\frac{1}{2}\times 32t^2=80t-16t^2$

অথবা, $6=5t-t^2$

" $t^2-5t+6=0$

" $(t-3)\ (t-2)=0,$

$\therefore$ $t=3,2$

$\therefore$ নির্ণেয় সময় 3 সেকেণ্ড বা 2 সেকেণ্ড

কোনও বস্তুকে উপরের দিকে ঊর্ধ্বাধভাবে নিক্ষেপ করিলে উহা চরম উচ্চতায় উঠিয়া আবার পূর্বের পথে নামিয়া আসে। অতএব বস্তুটি যাত্রাপথের প্রত্যেক বিন্দু দিয়া দুইবার যায়, একবার উঠিবার সময় এবং একবার নামিবার সময়। পূর্বোক্ত প্রশ্নে দুইটি উত্তর পাওয়ার ইহাই কারণ।

ভর ও ভার

[Mass and Weight]

ভর (Mass)ঃ **বস্তুর মধ্যে পদার্থের পরিমাণকে** (quantity of matter) **বস্তুর ভর বলে।**

ভার (Weight)ঃ **কোনও বস্তুকে পৃথিবী তাহার কেন্দ্রের দিকে যে বল** (force) **দ্বারা আকর্ষণ করে তাহাকে বস্তুর ভার বা ওজন বলে।**

ভর ও ভারের পার্থক্য

ভর ও ভারের সংজ্ঞা অনুসারে দেখা যাইতেছে যে ভর বস্তুর পদার্থের পরিমাণ এবং ভার সেই পদার্থের উপর পৃথিবীর আকর্ষণজনিত বল। সুতরাং ভার একজাতীয় বল কিন্তু ভর বল নয়। পৃথিবীর যদি আকর্ষণ বল না থাকিত তাহা হইলেও বস্তুর পদার্থ বর্তমান থাকিত সুতরাং তাহার ভর থাকিত কিন্তু ভার থাকিত না। বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল বস্তুর ভর ও ত্বরণের

গুণফলের সমান। সুতরাং m ভরবিশিষ্ট কোনও বস্তুর উপর অভিকর্ষজ বলকে অর্থাৎ ওজনকে w দ্বারা সূচিত করিলে পাওয়া যায়—

বস্তুর ভার (বস্তুর উপর প্রযুক্ত অভিকর্ষজ বল)
= বস্তুর ভর × অভিকর্ষজ ত্বরণ

$$\therefore \quad w = mg$$

আমরা জানি যে, অভিকর্ষজ ত্বরণ পৃথিবীর সর্বত্র সমান নয় সুতরাং বস্তুর ভার (বা ওজন) পৃথিবীর সর্বত্র সমান নয়। কিন্তু কোনও বস্তুকে পৃথিবীর একস্থান হইতে অপর স্থানে লইয়া গেলে তাহার 'পদার্থের পরিমাণের' কোনও পরিবর্তন হয় না, সুতরাং তাহার ভর সমান থাকে।

ভর (mass)	ভার (weight)
1. বস্তুর মধ্যে পদার্থের পরিমাণ। বস্তুর জড় ধর্মের (inertia) পরিমাপ।	1. বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বলের পরিমাপ।
2. সাধারণ তুলার সাহায্যে মাপা হয়।	2. স্প্রিং তুলার সাহায্যে মাপা যায়।
3. পৃথিবীর সর্বত্র সমান থাকে। কোনও পরিবর্তন হয় না।	3. পৃথিবীর সর্বত্র সমান থাকে না। বিষুবরেখার উপর সব চেয়ে কম এবং মেরু বিন্দুদ্বয় সবচেয়ে বেশী।
4. গ্রাম বা পাউণ্ডে প্রকাশ করা হয়।	4. ডাইন বা পাউণ্ডাল প্রকৃত একক। গ্রাম-ওজন বা পাউণ্ড-ওজনে সাধারণতঃ প্রকাশ করা হয়।

m_1 ও m_2 ভরবিশিষ্ট দুইটি বস্তুর উপর কোনও স্থানে পৃথিবীর আকর্ষণ বলকে যদি w_1 ও w_2 দ্বারা সূচিত করা হয় তাহা হইলে—

$$w_1 = m_1 g \text{ এবং } w_2 = m_2 g$$

$$\therefore \quad \frac{w_1}{w_2} = \frac{m_1 g}{m_2 g} = \frac{m_1}{m_2}, \text{ অথবা, } \frac{w_1}{m_1} = \frac{w_2}{m_2}$$

অর্থাৎ পৃথিবীর যে কোনও স্থানে ভর ও ভার পরস্পর সমানুপাতী।

বলের অভিকর্ষীয় একক
[Gravitational unit of force]

এক পাউণ্ড ভরবিশিষ্ট বস্তুকে পৃথিবী যে বল দ্বারা আকর্ষণ করে তাহাকে এক পাউণ্ড ওজন (বা ভার) বলে। এফ. পি. এস. এককে এই ভারের

পরিমাণ=1 পাউণ্ড × 32 ফুট প্রতি সেকেণ্ড^2=32 পাউণ্ডাল অর্থাৎ **1 পাউণ্ড ওজন=32 পাউণ্ডাল**। এক গ্রাম ভরবিশিষ্ট বস্তুকে পৃথিবী যে বল দ্বারা আকর্ষণ করে তাহাকে এক গ্রাম ওজন (বা ভার) বলে। সি. জি. এস. এককে এই ভারের পরিমাণ=1 গ্রাম × 981 সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড^2 =981 ডাইন অর্থাৎ **1 গ্রাম ওজন=981 ডাইন**।

অনেক সময় এই বল দুইটিকে 32 পাউণ্ডাল ও 981 ডাইন না বলিয়া 1 পাউণ্ড ওজন ও 1 গ্রাম ওজন বলা হয় অর্থাৎ 32 বা 981 সংখ্যা দ্বারা প্রকাশ না করিয়া একক সংখ্যা দ্বারা প্রকাশ করা হইয়া থাকে। বল দুইটিকে একক সংখ্যা দ্বারা প্রকাশ করিবার এই পদ্ধতিকে অভিকর্ষীয় একক বলে।

যদি কোনও বস্তুর উপর অভিকর্ষীয় বলের পরিমাণ 64 পাউণ্ডাল বা 96 পাউণ্ডাল হয়, তাহা হইলে সেই বলকে 2 পাউণ্ড ওজন বা 3 পাউণ্ড ওজন বলা যাইতে পারে। সেইরূপ কোনও বলের পরিমাণ যদি 1962 ডাইন বা 2943 ডাইন হয়, তাহা হইলে সেই বলকে 2 গ্রাম ওজন বা 3 গ্রাম ওজন বলিয়া প্রকাশ করা যাইতে পারে। এক কথায় এফ. পি. এস. বা সি. জি. এস. এককে বলের পরিমাণকে অভিকর্ষজ ত্বরণের পরিমাণ দ্বারা ভাগ করিলে অভিকর্ষীয় এককে বলের পরিমাণ পাওয়া যায়।

উদাহরণ 1 : কোনও বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ 40 গ্রাম ওজনের সমান হইলে সি. জি. এস. এককে বলের পরিমাণ কত ?

সি. জি. এস. এককে বলের পরিমাণ=40 × 981=39240 ডাইন

উদাহরণ 2 : কোনও বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ 9 পাউণ্ড ওজনের সমান হইলে এফ. পি. এস. এককে বলের পরিমাণ কত ?

এফ. পি. এস. এককে বলের পরিমাণ=9 × 32=288 পাউণ্ডাল

উদাহরণ 3 : কোনও বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ 8829 ডাইন হইলে অভিকর্ষীয় এককে বলের পরিমাণ কত ?

অভিকর্ষীয় এককে বলের পরিমাণ $\frac{8829}{981}$=9 গ্রাম ওজন

উদাহরণ 4 : কোনও বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ 160 পাউণ্ডাল হইলে অভিকর্ষীয় এককে বলের পরিমাণ কত ?

অভিকর্ষীয় এককে বলের পরিমাণ=$\frac{160}{32}$=5 পাউণ্ডের ওজন

আধ আউন্স ওজন ও এক পাউণ্ডালের সম্পর্ক :

আমরা জানি, 32 পাউণ্ডাল =1 পাউণ্ডের ওজন

∴ 1 পাউণ্ডাল=$\frac{1}{32}$ পাউণ্ডের ওজন

=$\frac{1}{32}$ × 16 আউন্সের ওজন

=$\frac{1}{2}$ আউন্সের ওজন

অর্থাৎ $\frac{1}{2}$ আউন্স ভরবিশিষ্ট কোনও বস্তুকে হাতের উপর রাখিলে আমরা যে ভার বোধ করি সেই বলের পরিমাণ এক পাউণ্ডাল।

এক কাঁচ্চা ওজন ও এক পাউণ্ডালের সম্পর্ক ঃ

আমরা জানি, 32 পাউণ্ডাল $=1$ পাউণ্ডের ওজন

$\therefore$ 1 " $=\frac{1}{32}$ " "

$\therefore$ $\frac{1}{2}$ " $=\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}$ সেরের ওজন (প্রায়)

(1 পাউণ্ড $=\frac{1}{2}$ সের প্রায়)

$=\frac{1}{2}\times\frac{1}{32}\times16\times4$ কাঁচ্চার ওজন (প্রায়)

$=1$ কাঁচ্চার ওজন (প্রায়)

অতএব দেখা যাইতেছে যে এক কাঁচ্চা ভরবিশিষ্ট কোনও বস্তুকে হাতের উপর রাখিলে যে ভার বোধ হয় তাহা প্রায় এক পাউণ্ডালের সমান।

এক মিলিগ্রাম ওজন ও এক ডাইনের সম্পর্ক ঃ

আমরা জানি, 981 ডাইন $=1$ গ্রাম-এর ওজন

$\therefore$ 1 " $=\frac{1}{981}$ গ্রাম-এর ওজন $=\frac{1000}{981}$ মিলিগ্রাম-এর ওজন

$=1\cdot013$ মিলিগ্রাম-এর ওজন (প্রায়)

$=1$ মিলিগ্রাম-এর ওজন (প্রায়)

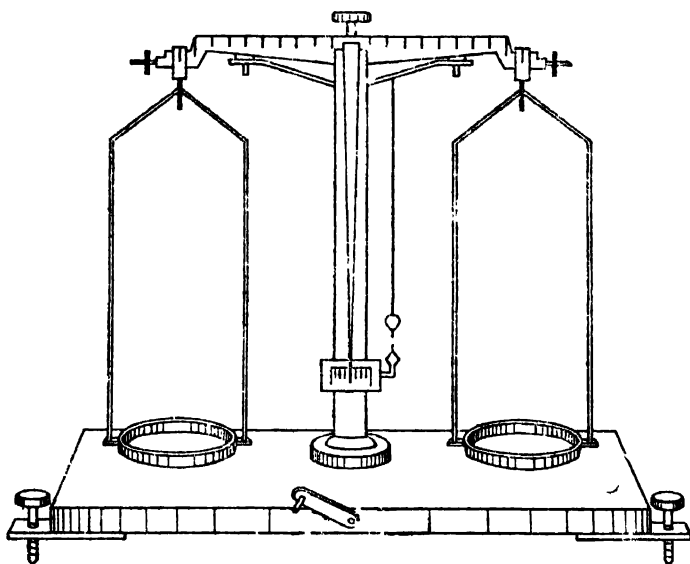
অর্থাৎ, 1 মিলিগ্রাম ভরবিশিষ্ট কোনও বস্তুকে হাতের উপর রাখিলে আমরা যে ভার বোধ করি তাহা প্রায় 1 ডাইন বলের সমান।

ভর ও ভারের পরিমাপ

কোনও বস্তুর ভর মাপাকে আমরা চলতি কথায় 'ওজন করা' বলি এবং 'এক-গ্রাম ওজন' ও 'এক-গ্রাম ভর' কথা দুইটি সর্বদা একই অর্থে ব্যবহার করি। কিন্তু বিজ্ঞানের ভাষায় ভর ও ওজন বা ভার ঠিক এক কথা নয় 'এক-গ্রাম ওজন' বা সঠিকভাবে বলিলে 'এক-গ্রাম-এর ওজন' কথার দ্বারা এক-গ্রাম ভরের পদার্থকে পৃথিবী যে বলের দ্বারা আকর্ষণ করে তাহাকে বুঝায়। অতএব যাহার ওজন এক-গ্রাম বলা হইবে তাহার ভরও এক-গ্রাম বুঝিতে হইবে।

সাধারণ তুলা (Common Balance) ঃ তুলা বা দাঁড়িপাল্লাই **ভর মাপিবার যন্ত্র**। প্রয়োজনানুসারে তুলার সূক্ষ্মতা (accuracy) বাড়ানো যাইতে পারে। বাজারে জিনিসপত্র ওজন করিবার জন্য সাধারণ দাঁড়িপাল্লা ব্যবহৃত হয়। তাহার সূক্ষ্মতা খুব বেশী নয়। কিন্তু পদার্থবিদ্যা ও রসায়নের পরীক্ষাগারে যে ধরনের তুলা ব্যবহৃত হয়, তাহাদের সূক্ষ্মতার পরিমাণ খুব বেশী। এইরূপ তুলার সাহায্যে এক মিলিগ্রাম ($\frac{1}{1000}$ গ্রাম) পর্যন্ত ওজনের ব্যবধানও লক্ষ্য করা সম্ভব।

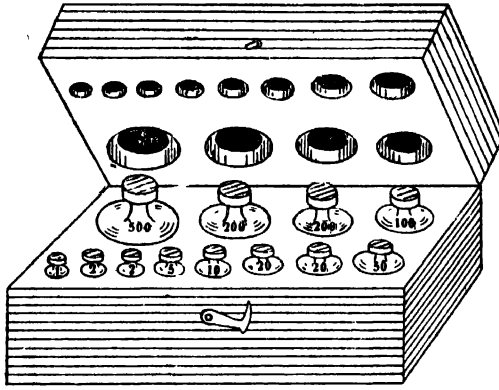
সংক্ষিপ্ত বর্ণনা ঃ পরীক্ষাগারে ব্যবহৃত তুলাদণ্ডের দাঁড়ি (beam) একটি পিতলের রড্। ঠিক মাঝখানে সংবদ্ধ একটি ছুরির ফলার আকৃতি এগেট জাতীয় একপ্রকার পাথরের আলম্বের (agate knife-edge fulcrum) উপর দাঁড়িটি দুই দিকে দুলিতে পারে। ঐ আলম্ব হইতে ঠিক সমান দূরে দাঁড়ির দুই প্রান্তে দুইটি পাল্লা (Scale-pans) ঝুলানো থাকে। ঠিক

মাঝখানে উর্ধ্বাধভাবে অবস্থিত একটি ফাঁপা পিতলের রড (উল্লম্বদণ্ড) আছে। ইহার সহিত সংযুক্ত দুই পাশে দুইটি শাখার আকারের অবলম্বনের উপর সাধারণত দাঁড়িটি স্থিরভাবে থাকে। কিন্তু ঐ ফাঁপা স্থির রডটির মধ্যে আর

১৯নং চিত্র : তুলাদণ্ড বা তুলা

একটি রড উর্ধ্বাধভাবে অবস্থিত থাকে। ঐ রড নীচে একটি হাতল বা স্ক্রুর সহিত এমনভাবে সংলগ্ন যে হাতল বা স্ক্রু ঘুরাইলে রডটি উপরে উঠিয়া যায় এবং উহার ঠিক মাথার উপরে আলম্বটিকে (Fulcrum) ধরিয়া দাঁড়িটিকে উপরে তুলিয়া দেয়। এখন দাঁড়িটি কেবল মাঝখানে অ'লম্বের উপর থাকায় দুই দিকে দুলিতে থাকে। দাঁড়ির মাঝখান হইতে একটি লম্বা কাঁটা বা সূচক (Pointer) নীচে নামিয়া গিয়াছে। ইহার নিম্ন প্রান্তের নিকট একটি স্কেল আঁকা আছে। দাঁড়িটির সহিত কাঁটাটিও দুলিতে থাকে এবং স্কেল দেখিয়া দুই পাশে কাঁটাটি কতদূর দুলিতেছে তাহা লক্ষ্য করা যায়। ইহা ব্যতীত মাঝখানের রডটিকে ঠিক উর্ধ্বাধ করিবার জন্য উহার সহিত সংলগ্ন একটি ওলনদড়ি (Plumb Line) এবং তুলা বা দাঁড়িপাল্লার পাটাতনের নীচে লেভেল করিবার স্ক্রু আছে। বায়ুপ্রবাহ হইতে রক্ষা করিবার জন্য সমগ্র তুলাটি অনেক সময় কাঁচের বাক্সে আবদ্ধ থাকে।

ওজনের বাক্স (Weight Box) : জানা ওজনের বা বাটখারার (Standard Weight) একটি বাক্স প্রত্যেক তুলা বা দাঁড়িপাল্লার সহিত থাকে। উহাতে সাধারণত 10 বা 5 মিলিগ্রাম হইতে 100 গ্রাম পর্যন্ত বিভিন্ন মাপের প্রামাণিক ওজন বা বাটখারা থাকে।

ব্যবহার : এইরূপ সমস্ত দাঁড়িপাল্লার ব্যবহারের মূলনীতি এক। তুলাদণ্ডের দুই পাল্লায় যদি সমান ভরবিশিষ্ট দুইটি বস্তু রাখা হয়, তাহা হইলে

পৃথিবীর অভিকর্ষের (Gravity) জন্য উভয়ের উপরই সমান ওজন পড়ে অর্থাৎ পৃথিবী উভয়কেই সমান বলে আকর্ষণ করে। তাহার ফলে দণ্ডটি হয় স্থির থাকে, নতুবা দুই দিকে সমান পরিমাণে দুলিতে থাকে। এক পার্শ্বের পাল্লায়

২০নং চিত্র : ওজনের বাক্স

জানা ওজন রাখা হয় এবং অপর পার্শ্বের পাল্লায় অবস্থিত পরিমেয় বস্তুর সহিত ঐ ওজন সমান হয়। যেহেতু বাটখারা ও পরিমেয় বস্তু উভয়ের উপর অভিকর্ষজ ত্বরণের মান এক ; সুতরাং **উভয়ের ভরও সমান।**

উদাহরণ : কোনও তুলার একপাল্লায় একটি বস্তু ও অপর পাল্লায় এই ওজনগুলি রাখায় ওজনের সমতা হইল : 20 গ্রাম, 10 গ্রাম, 5 গ্রাম, 1 গ্রাম, 500 মিলিগ্রাম, 20 মিলিগ্রাম, 10 মিলিগ্রাম। বস্তুটির প্রকৃত ওজন কত ?

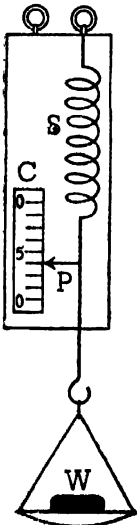
এখন 500 মিলিগ্রাম $=\frac{500}{1000}$ গ্রাম $=\cdot5$ গ্রাম

20 „ $=\frac{20}{1000}$ $=\cdot02$ „

10 „ $=\frac{10}{1000}$ $=\cdot01$ „

সুতরাং বস্তুটির ওজন

$=(20+10+5+1+\cdot5+\cdot02+\cdot01)$গ্রাম

$=$**36·53** গ্রাম।

২১নং চিত্র : স্প্রিং তুলা

স্প্রিং তুলা

স্প্রিং তুলার (Spring Balance) সাহায্যে **বস্তুর ভার বা ওজন** মাপা যায়। S একটি কুণ্ডলী আকারের শক্ত স্প্রিং। উহা একটি হুক হইতে ঝুলান আছে। (ঝুলাইয়া ওজন করার সুবিধার জন্য অনেক সময় দুইটি হুকও থাকে।) ঐ স্প্রিং-এর নীচে একটি ধাতুনির্মিত সরু রডের সহিত সংলগ্ন P একটি সূচক বা নির্দেশক (Pointer)। রডটির

নীচে আর একটি হুকের সহিত পরিমেয় বস্তুকে (W) পাল্লায় রাখিয়া ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। তাহা হইলে বস্তুটির ওজনের জন্য স্প্রিং-টি প্রসারিত হয় এবং সূচক P নীচে নামিয়া আসে। ঐ সূচক কতদূর নামে তাহা দেখিয়া বস্তুর ওজন স্থির করা হয়। প্রথমে জানা ওজন ঝুলাইয়া সূচক কোন্ ওজনের দ্বরা কতদূর নামিয়া আসে তাহা লক্ষ্য করিয়া সূচকের পাশে দাগ দেওয়া হয় এবং সেই সকল দাগের পাশে 1 পাউণ্ড, 2 পাউণ্ড, বা 1 কিলো, 2 কিলো, প্রভৃতি ওজন লিখিয়া রাখা হয়। এইরূপে C স্কেলটি প্রস্তুত করা হয়। এখন পরিমেয় বস্তু সূচককে যে দাগ পর্যন্ত নামাইয়া আনে তাহাই বস্তুর ওজন। স্প্রিং তুলার সূক্ষ্মতার পরিমাণ বেশী নহে। সেইজন্য পরীক্ষাগারে সাধারণত ইহা ব্যবহৃত হয় না।

সারাংশ

পতনশীল বস্তুর পতন সম্বন্ধীয় সূত্র : কোনও বস্তু স্থির অবস্থা হইতে বিনা বাধায় বায়ুশূন্য স্থানে উপর হইতে নীচে পড়িলে নিম্নলিখিত তিনটি নিয়ম অনুসরণ করিয়া থাকে : (1) পতনশীল বস্তুমাত্রেই সমান সময়ের অবকাশে সমান দূরত্ব অতিক্রম করে (2) কোনও নির্দিষ্ট সময়ে পতনশীল বস্তু যে বেগ অর্জন করে তাহা ঐ সময়ের সমানুপাতী (3) কোনও নির্দিষ্ট সময়ে পতনশীল বস্তু যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা ঐ সময়ের বর্গের সমানুপাতী।

পতনশীল বস্তুর পতন সম্বন্ধীয় সমীকরণ :

(1) $v=gt$ (2) $h=\frac{1}{2}gt^2$ (3) $v^2=2gh$.

উৎক্ষেপণ সম্বন্ধীয় সমীকরণ। (1) $v=u-gt$, (2) $h=ut-\frac{1}{2}gt^2$, (3) $v^2=u^2-2gh$.

উৎক্ষিপ্ত বস্তুর সর্বোচ্চ উচ্চতায় উঠিবার সময় : $t=\frac{u}{g}$

উৎক্ষিপ্ত বস্তুর উৎক্ষেপণ বিন্দুতে পুনরায় ফিরিয়া আসার সময় $=\frac{2u}{g}$

উৎক্ষিপ্ত বস্তুব সর্বোচ্চ উচ্চতা $=\frac{u^2}{2g}$

অনুশীলনী

1. *Write down the laws of falling bodies and explain them. Describe Newton's Guinea and Feather experiment and discuss the result obtained.*

2. *Distinguish between mass and weight. Describe and explain the working of the instruments which measure them.*

3. *A body is projected vertically upwards with a velocity of 240 ft. per sec. Find its greatest height attained and the time it takes to come back to the ground.*

4. *A body falls from rest from a height of 256 ft. Find the time it takes to reach the ground.*

5. *A boy raises a ball of mass 2 oz. to a height of 64 ft. Find the initial velocity imparted to the ball. If this velocity has been imparted in $\frac{1}{10}$ second, find the force exerted by the boy.*

6. *A stone being dropped from the top of a tower, it touched the ground in $3\frac{1}{2}$ sec. What is the height of the tower ?*

7. *A stone dropped from an aeroplane moving horizontally touched the ground in 6 seconds. What was the height of the plane ? $g=32$ ft/sec^2.*

8. *A body is projected vertically upwards with a velocity of 88 ft. per second. If $g=32$ ft/sec^2, in what time will it pass through the height of 112 ft. ? Account for the double answer.*

9. *A stone dropped from a balloon rising vertically upwards with a velocity of 10 ft/sec touched the ground in 6 seconds. From what height was the stone dropped ?*

10. *A stone being dropped into a well, the sound of its splash is heard in $3\frac{19}{20}$ sec of its dropping. If velocity of sound is 1125 ft./sec, find depth of the well. $g=32$ ft/sec^2*

॥ উত্তর ॥

3. 900 ফুট, 15 সে., 4. 4 সে., 5. 64 ফুট/সে., 80 পাউণ্ডাল, 6. 196 ফুট, 7. 576 ফুট, 8. 2 সে., $3\frac{1}{2}$ সে. 9. 516 ফুট, 10. 225 ফুট [সংকেত : গভীরতা $=\frac{1}{2}gt_1{}^2=1125t_2$; $t_1+t_2=3\frac{19}{20}$].

কার্য ও শক্তি
[Work and Energy]

কার্য
[Work]

বলের সংজ্ঞা হইতে আমরা জানি যে প্রযুক্ত বল বস্তুর স্থান বা গতি পরিবর্তনের চেষ্টা করে কিংবা পরিবর্তন করিয়া থাকে। বলপ্রয়োগের দ্বারা বস্তুর স্থান বা গতির পরিবর্তন হইলে বলা হয় যে বল বস্তুর উপর 'কার্য' করিতেছে। বলপ্রয়োগের দ্বারা বস্তুর স্থান বা গতির পরিবর্তন যদি না ঘটে তাহা হইলে বলের দ্বারা কোন কার্য হয় না। রাস্তা দিয়া ঘোড়া যখন গাড়ি টানে তখন সে রাস্তার ঘর্ষণজনিত বাধার বিরুদ্ধে কাজ করিয়া থাকে। কিন্তু কেহ যদি একটি থামকে ঠেলা দিয়া ফেলিবার চেষ্টা করে অথচ ফেলিতে না পারে তাহা হইলে আমরা বলিয়া থাকি যে সে বল প্রয়োগ করিতেছে বটে কিন্তু বলের দ্বারা কোন 'কার্য' হইতেছে না। অতএব বলের দ্বারা সম্পন্ন কার্যের এইরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যাইতে পারে:

বস্তুর উপর যে বিন্দুতে বল প্রযুক্ত হইয়াছে বলপ্রয়োগের দ্বারা যদি সেই বিন্দুটি বলের দিকে অপসারিত হয় তাহা হইলে প্রযুক্ত বল বস্তুটির উপর কার্য করিতেছে বলা হইয়া থাকে। যদি বিন্দুটি বলের বিপরীত দিকে অপসারিত হয় তাহা হইলে বলের বিরুদ্ধে কার্য হইতেছে বলা হয়। **বলের দ্বারা সম্পন্ন কার্যের পরিমাণ প্রযুক্তবল ও বলের দিকে বস্তুর সরণের গুণফলের দ্বারা প্রকাশ করা হয়।**

কার্য = প্রযুক্ত বল × (বলের দিকে) বস্তুর সরণ

কার্যকে W দ্বারা, প্রযুক্ত বলকে P দ্বারা ও সরণকে S দ্বারা সূচিত করিলে আমরা পাই

$$W = P.S \qquad (1)$$

কার্যের একক: একক বল কোনও বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইয়া বলের দিকে প্রয়োগবিন্দুকে একক দূরত্ব অপসারিত করিতে যে কার্য করে তাহাকে **একক কার্য** বলে।

এক ডাইন (dyne) বল কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইয়া প্রয়োগবিন্দুকে বলের দিকে এক সেন্টিমিটার অপসারিত করিলে যে কার্য হয় তাহাকে **সি. জি. এস. পদ্ধতিতে কার্যের একক** বলে। ইহার নাম **এক আর্গ (One Erg)।**

এক পাউণ্ডাল বল কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইয়া প্রয়োগবিন্দুকে এক ফুট অপসারিত করিলে যে কার্য হয় তাহাকে **এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে কার্যের একক** বলে। ইহার নাম **এক ফুট পাউণ্ডাল** (One Foot Poundal)।

কার্যের ব্যবহারিক একক (Practical unit of Work) :

পূর্বোক্ত একক দুইটি ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ছোট হওয়ার জন্য নিম্নলিখিত একক দুইটি সাধারণত ব্যবহার করা হয়। সি. জি. এস. পদ্ধতিতে কার্যের ব্যবহারিক একককে **'এক জুল'** (One Joule) বলে। ইহা এক কোটি আর্গের সমান। অর্থাৎ

$$1 \text{ Joule} = 10^7 \text{ ergs}$$

এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে কার্যের ব্যবহারিক একককে এক ফুট পাউণ্ড বলে। 1 পাউণ্ড ওজনকে পৃথিবীর আকর্ষণের বিপরীত দিকে 1 ফুট দূরত্ব অপসারিত করিতে অর্থাৎ 1 ফুট উপরে তুলিতে যে কার্য করিতে হয় তাহাকে 1 ফুট পাউণ্ড বলে।

সুতরাং দেখা যাইতেছে—

1 ফুট পাউণ্ড = 1 পাউণ্ড ওজন × 1 ফুট
= 32 পাউণ্ডাল × 1 ফুট (= 32 ফুট পাউণ্ডাল)
= 32 × 13825 ডাইন × 30·48 সে. মি
= 1·36 × 10^7 আর্গ = **1·36 জুল**

ক্ষমতা (Power) : বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল যে হারে কার্য করে তাহাকে বলের ক্ষমতা বলে অর্থাৎ একক সময়ে বল বস্তুর উপর যে কার্য করে তাহাই বলের ক্ষমতার পরিমাপ।

∴ (বলের) ক্ষমতা = একক সময়ে বলের দ্বারা কৃত কার্যের পরিমাণ

$$= \frac{\text{বলের দ্বারা কৃত কার্য}}{\text{কার্য করার সময়}}$$

ক্ষমতার ব্যবহারিক একক (Practical unit of Power) :

যদি কোনও প্রযুক্ত বল প্রতি সেকেণ্ডে বস্তুর উপর 550 ফুট পাউণ্ড পরিমাণে কার্য করে তাহা হইলে প্রযুক্ত বলের কার্য করার ক্ষমতাকে **এক অশ্বশক্তি** (One Horse Power) বলে।

∴ 1 Horse Power (H. P.) = 550 ফুট পাউণ্ড প্রতি সেকেণ্ড
= 33000 ফুট পাউণ্ড প্রতি মিনিট

যদি কোনও প্রযুক্ত বল প্রতি সেকেণ্ডে বস্তুর উপর 1 জুল (One Joule) হারে কার্য করে তাহা হইলে বলের কার্য করার ক্ষমতাকে **এক ওয়াট** (One Watt) বলে। অর্থাৎ

1 Watt = 1 Joule per second = 10^7 ergs per Sec.

দেখা যাইতেছে,

1 হর্স পাওয়ার = 550 ফুট পাউণ্ড/সেকেণ্ড
= 550 × 1·36 জুল/সেকেণ্ড
= 746 ওয়াট।

শক্তি
[Energy]

বস্তুর কাজ করার সামর্থ্যকে শক্তি বলে। বস্তু যে পরিমাণ কাজ করিতে পারে তাহাই বস্তুর শক্তিরও পরিমাপ। কার্যকে যে এককে প্রকাশ করা হয় শক্তিকেও সেই এককে প্রকাশ করা হইয়া থাকে। আমরা জানি যান্ত্রিক শক্তি, তাপ, আলোক প্রভৃতি বিভিন্ন রকমের শক্তি আছে। আমরা এখানে যান্ত্রিক শক্তি (mechanical energy) সম্বন্ধে আলোচনা করিব। যান্ত্রিক শক্তি দুই প্রকার: **গতিশক্তি** (**Kinetic energy**) ও **স্থিতি-শক্তি** (**Potential energy**).

কোনও বস্তু গতিশীল হইলে তাহার কাজ করিবার সামর্থ্য হয়। গতিশীল একটি টর্পেডো জাহাজকে আঘাত করিয়া নিমজ্জিত করিতে পারে। জল গতিশীল হইলে তাহা চাকা ঘুরাইয়া শস্যচূর্ণ করিতে পারে। বায়ু গতিশীল হইলে চাকা ঘুরাইয়া কূপ হইতে জল তুলিতে পারে। **কোনও বস্তু গতিশীল হওয়ার জন্য কার্য করার যে সামর্থ্য অর্জন করে তাহাকে বস্তুর গতিশক্তি বলে।** গতিশক্তিসম্পন্ন কোনও বস্তু তাহার গতিবেগ হারানো পর্যন্ত যে পরিমাণ কার্য করিতে পারে তাহাই বস্তুর গতিশক্তির পরিমাণ।

গতিশক্তির পরিমাণ: মনে করা যাক্, m ভরবিশিষ্ট কোনও বস্তু u সমবেগ সহ চলিতেছে। ∴ গতিসম্পন্ন হওয়ার জন্য বস্তুটির গতিশক্তি আছে। এখন যদি চলমান বস্তুটির বিপরীত দিকে P বল প্রয়োগ করিয়া বস্তুটিকে s দূরত্বের মধ্যে থামানো যায় তাহা হইলে আমরা বলিতে পারি যে বস্তুটি বলের বিরুদ্ধে কাজ করার ফলে তাহার গতিশক্তি হারাইয়াছে। বলের বিরুদ্ধে বস্তুটি যে কাজ করিয়াছে তাহাই বস্তুটির গতিশক্তির পরিমাপ। আমরা জানি যে বস্তুটির বলের বিরুদ্ধে কার্যের মান $= P.\ s.$ প্রযুক্ত বল যদি বস্তুটির উপর f মন্দন সৃষ্টি করিয়া থাকে তাহা হইতে গতি সম্বন্ধীয় চতুর্থ সমীকরণ হইতে আমরা পাই—

$$v^2 = u^2 + 2fs$$

অথবা, $$O = u^2 - 2fs$$

অথবা, $$s = \frac{u^2}{2f}$$

সুতরাং বলের বিরুদ্ধে বস্তুর কার্য $= P.\ s = P.\frac{u^2}{2f}.$ নিউটনের দ্বিতীয় বলসূত্র হইতে আমরা জানি যে $P = mf$; সুতরাং বলের বিরুদ্ধে বস্তুর কার্য $= mf\frac{u^2}{2f} = \frac{1}{2}mu^2$

∴ **বস্তুর গতিশক্তির পরিমাণ $= \frac{1}{2}mu^2$**

বস্তুটি শুধু বলের উপর কার্য করে নাই, বলও বস্তুটির উপর কার্য করিয়াছে এবং সেই কার্যের পরিমাণ $= -\frac{1}{2}mu^2$.

শক্তি সম্বন্ধীয় সমীকরণ (Equation of Energy) :

মনে করা যাক্, m ভরবিশিষ্ট কোনও বস্তুর উপর P বল প্রয়োগ দ্বারা তাহার গতি u হইতে v-তে পরিবর্তিত হইয়াছে এবং এই পরিবর্তনকালে বস্তুটি s দূরত্ব অতিক্রম করিয়াছে।

সুতরাং বস্তুটির গতিশক্তি বৃদ্ধির পরিমাণ $=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mu^2$.

যদি প্রযুক্ত বল দ্বারা সৃষ্ট ত্বরণের মান f হয় তাহা হইলে নিউটনের দ্বিতীয় বলসূত্র অনুসারে $P=mf$, সুতরাং প্রযুক্ত বলদ্বারা বস্তুর উপর কৃত কার্য $=P.\ s=mf.\ s$.

গতি সম্বন্ধীয় চতুর্থ সমীকরণ হইতে আমরা পাই $\frac{1}{2}(v^2-u^2)=fs$

সুতরাং প্রযুক্ত বলের দ্বারা কৃত কার্য $=m.fs=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mu^2$

$\therefore$ প্রযুক্ত বলের দ্বারা কৃত কার্য = গতিশক্তি বৃদ্ধির পরিমাণ

স্থিতিশক্তি : কোনও বস্তু একটি বিশেষ স্থানে অবস্থিত হওয়ার জন্য অনেক সময় কাজ করবার সামর্থ্য লাভ করে। আবার বস্তুটির বিভিন্ন অংশের পারস্পরিক অবস্থানের পরিবর্তন দ্বারাও বস্তুকে কাজ করিবার সামর্থ্য দেওয়া যাইতে পারে। বস্তুর এই উভয় প্রকার কাজ করিবার ক্ষমতাকে বস্তুর স্থিতিশক্তি বলে।

মনে করা যাক্, ছাদের উপরে একটি ভারী পাথর আছে। মাটি হইতে উচুস্থানে অবস্থিত হওয়ার জন্য পাথরটির কাজ করার ক্ষমতা আছে। একটি শক্ত দড়ির এক দিক একটি জলভরতি বালতিতে এবং অপর দিক পাথরটিতে বাঁধিয়া দেওয়া হইল। এইবার দড়িটিকে ছাদের ধারে আটকান একটি কপিকলের উপর ছাড়িয়া দিলে ভারি পাথরটি পৃথিবীর আকর্ষণে ধীরে ধীরে নীচে নামিতে থাকিবে এবং জলভরতি বালতিটি উপরে উঠিতে থাকিবে। পাথরটি তাহার বিশেষ অবস্থানের জন্য (ছাদের উপর) কাজ করিবার (জল তুলিবার) ক্ষমতা লাভ করিয়াছে। মাটিতে অবস্থিত হইলে এরূপ করা সম্ভব হইত না। নির্দিষ্ট অবস্থান হইতে ভূ-পৃষ্ঠে নামিয়া আসিতে পাথরটি যে পরিমাণ কাজ করিতেছে তাহাই পাথরটির স্থিতিশক্তির পরিমাণ।

ঘড়ির দম ফুরাইয়া গেলে তাহার স্প্রিংটি আলগা হইয়া ছড়াইয়া পড়ে অর্থাৎ স্প্রিং-এর বিভিন্ন অংশের পারস্পরিক দূরত্ব বৃদ্ধি পায় ও ঘড়ি আর চলে না। ঘড়িতে দম দিলে স্প্রিংটি গুটাইয়া আসে অর্থাৎ বিভিন্ন অংশের পারস্পরিক দূরত্ব হ্রাস পায় ও ঘড়ি কাজ করার ক্ষমতা লাভ করে (ঘড়ি চলিতে আরম্ভ করে)। সুতরাং দেখা যাইতেছে যে বস্তুর বিভিন্ন অংশের পারস্পরিক অবস্থানের পরিবর্তন দ্বারাও বস্তুর কাজ করার ক্ষমতা হয়। বস্তুর এই ধরনের কাজ করার ক্ষমতাকেও স্থিতিশক্তি বলে।

উচ্চস্থানে অবস্থিত বস্তুর স্থিতিশক্তির পরিমাণ : মনে করা যাক্, m ভরবিশিষ্ট কোনও বস্তু ভূমি হইতে h উচ্চতায় অবস্থিত আছে। বস্তুটিকে ঐ উচ্চতায় তুলিতে অভিকর্ষজ আকর্ষণের বিরুদ্ধে যে পরিমাণ

কার্য করিতে হইয়াছে তাহাই ঐ বস্তুর স্থিতিশক্তির পরিমাণ। যেহেতু বস্তুটির উপর অভিকর্ষজ বলের পরিমাণ mg সুতরাং h উচ্চতায় তুলিতে অভিকর্ষজ বলের বিরুদ্ধে কার্য $= mg \times h = mgh$.

অতএব বস্তুর স্থিতিশক্তির পরিমাণ $= mgh$.

বস্তুটিকে পুনরায় ভূ-পৃষ্ঠে নামাইয়া আনিতে পৃথিবীকে সমপরিমাণ কার্য করিতে হইবে।

শক্তির নিত্যতা
[Conservation of Energy]

নানাবিধ প্রাকৃতিক ঘটনা পর্যালোচনা করিয়া এবং বিভিন্ন পরীক্ষার দ্বারা বৈজ্ঞানিকেরা এই সিদ্ধান্তে উপনীত হইয়াছেন যে—শক্তি অবিনশ্বর। ইহাকে সৃষ্টি করা বা ধ্বংস করা সম্ভব নয়। সমগ্র বিশ্বে মোট শক্তির পরিমাণ নির্দিষ্ট এবং এই পরিমাণের কোনরূপ পরিবর্তন করা যায় না। ইহাকে শক্তির নিত্যতা বলে।

শক্তির রূপান্তর
[Transformation of Energy]

বিশ্বের সামগ্রিক শক্তির পরিমাণের হ্রাস বা বৃদ্ধি সম্ভব না হইলেও এক শক্তিকে অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায়। ছুরি, কাঁচি প্রভৃতি শান দিবার সময় যান্ত্রিক শক্তি শব্দ, তাপ, আলোক প্রভৃতিতে রূপান্তরিত হয়। 'শক্তির নিত্যতা' অনুসারে শব্দ, তাপ ও আলোকজাত মোট শক্তির পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তির পরিমাণের সহিত সমান। তারের ভিতর দিয়া বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘটিলে তাহা হইতে অনেক সময় তাপ ও আলোক উৎপন্ন হয়। ইহাই বিদ্যুৎশক্তির তাপ ও আলোকে রূপান্তরের উদাহরণ। শক্তির নিত্যতা অনুসারে বিদ্যুৎ-শক্তির পরিমাণ এবং উৎপন্ন তাপ ও আলোক-শক্তির পরিমাণ সমান। এইরূপ বিভিন্ন পদ্ধতিতে একশক্তি অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া থাকে। শক্তির রূপান্তর হইলেও শক্তির নিত্যতার ব্যতিক্রম ঘটে না।

শক্তির অপচয়
[Dissipation of Energy]

'শক্তির নিত্যতা' অনুসারে শক্তির বিনাশ কখনও হয় না সত্য, কিন্তু রূপান্তরিত হওয়ার সময় শক্তির অংশবিশেষ এরূপ এক অবস্থায় চলিয়া যায় যাহা হইতে কার্যের উপযোগী শক্তি আর ফিরিয়া পাওয়া যায় না। ইহাকে 'শক্তির অপচয়' বলে। ইঞ্জিনের কয়লার মধ্যে যে শক্তি সঞ্চিত আছে তাহার কিছু অংশ গাড়ি টানিবার কাজে ব্যবহৃত হইতেছে সত্য, কিন্তু রেলপথের ও চাকার ঘর্ষণের জন্য কিছু পরিমাণ শক্তির অপচয় ঘটে। আজও পর্যন্ত এমন কোন উপায় উদ্ভাবন করা যায় নাই যাহা দ্বারা এই অপচয়িত শক্তির পুনরুদ্ধার সম্ভব। বিভিন্ন ক্ষেত্রে শক্তির রূপান্তরের সময় তাহার এক অংশের এইরূপ

অপচয় ঘটে। বিশ্বে ধীরে ধীরে এই অপচয়জনিত শক্তির পরিমাণ বৃদ্ধি পাইতেছে।

পতনশীল বস্তুর ক্ষেত্রে 'শক্তির নিত্যতা'

২২নং চিত্র

মনে করা যাক্, m ভরবিশিষ্ট কোন একটি বস্তু ভূমি হইতে h উচ্চতায় A বিন্দুতে অবস্থিত আছে। A বিন্দুতে বস্তুটির স্থিতিশক্তির পরিমাণ mgh এবং যেহেতু A অবস্থানে বস্তুটির গতি নাই সুতরাং ঐ অবস্থানে ইহার গতিশক্তির পরিমাণ শূন্য।

$\therefore$ A বিন্দুতে অবস্থানকালে বস্তুর মোট যান্ত্রিক শক্তির পরিমাণ $= mgh + o = mgh$:

এখন মনে করা যাক্, বস্তুটিকে পৃথিবীর আকর্ষণে পড়িতে দেওয়া হইল এবং কিছুক্ষণ পরে বস্তুটি B বিন্দুতে x দূরত্ব অতিক্রম করিয়া নামিয়া আসিল। B বিন্দুতে বস্তুটির ভূমি হইতে উচ্চতা $(h-x)$ সুতরাং ইহার স্থিতিশক্তির পরিমাণ $= mg\ (h-x)$. পৃথিবীর আকর্ষণে A বিন্দু হইতে B বিন্দুতে আসায় বস্তুর অর্জিত বেগ যদি v হয় তাহা হইলে B বিন্দুতে বস্তুর গতিশক্তির পরিমাণ $= \frac{1}{2}mv^2$ সুতরাং B বিন্দুতে বস্তুর মোট যান্ত্রিক শক্তির পরিমাণ

$$= mg\ (h-x) + \frac{1}{2}\ mv^2.$$

চতুর্থ গতি সমীকরণ হইতে আমরা জানি, $v^2 = u^2 + 2fs$, যেহেতু এক্ষেত্রে $u = o$, $f = g$ এবং $s = x$,

সুতরাং $v^2 = 2gx$.

অতএব B বিন্দুতে বস্তুর মোটশক্তির পরিমাণ

$$= mg\ (h-x) + \frac{1}{2} \times m \times 2gx$$
$$= mgh$$

সুতরাং দেখা যাইতেছে যে B বিন্দুতে বস্তুর মোট যান্ত্রিক শক্তির পরিমাণ A বিন্দুতে মোট যান্ত্রিক শক্তির পরিমাণের সমান। যেহেতু B বিন্দু পতনশীল বস্তুর পথের যে কোনও বিন্দু হইতে পারে সুতরাং প্রমাণিত হইল যে অভিকর্ষজ ত্বরণে পতনশীল বস্তুর মোট যান্ত্রিক শক্তির পরিমাণ নির্দিষ্ট। ইহাকে অভিকর্ষের ক্ষেত্রে যান্ত্রিক শক্তির নিত্যতা বলা হয়।

উদাহরণ 1 : 15 পাউণ্ডাল বল 20 ফুট স্থানান্তরিত হইলে কার্যের পরিমাণ কত ?

নির্ণেয় কার্য $=$ বল $\times$ সরণ $=$ 15 পাউণ্ডাল $\times$ 20 ফুট

$=$ **300** ফুট পাউণ্ডাল

উদাহরণ 2 : 200 পাউণ্ড ওজনের একটি বস্তুকে 150 ফুট উচ্চে তুলিতে কত কার্য করিতে হয় ?

নির্ণেয় কার্য = বল × সরণ

= 200 পাউণ্ডের ওজন × 150 ফুট

= **30000** ফুট পাউণ্ড

উদাহরণ 3 : কোনও পাম্প দ্বারা 275 ঘনফুট জল 2 মিনিটে 120 ফুট উচ্চে তোলা যায়। পাম্পটির ক্ষমতা কত অশ্বশক্তি ?

1 ঘনফুট জলের ওজন = 62·5 পাউণ্ড

∴ 275 " " " = 275 × 62·5 পাউণ্ড

∴ 2 মিনিটে কৃত কার্য = বল × সরণ

= 275 × 62·5 পাউণ্ড × 120 ফুট

= 275 × 62·5 × 120 ফুট পাউণ্ড

∴ 1 সেকেণ্ডে কৃত কার্য = $\frac{275 \times 62{\cdot}5 \times 120}{2 \times 60}$ ফুট পাউণ্ড

∴ পাম্পের ক্ষমতা = $\frac{275 \times 62{\cdot}5 \times 120}{2 \times 60 \times 550}$ অশ্বশক্তি

= **31·25** অশ্বশক্তি

উদাহরণ 4 : 2 কিলোগ্রাম ভরবিশিষ্ট একটি বস্তু মিটার প্রতি সেকেণ্ড বেগে চলিলে উহার গতিশক্তি কত ?

গতিশক্তি = $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 2000$ গ্রাম × (100 সে. মি.)^2

= **1000,0000** আর্গ

সারাংশ

কার্য : বলদ্বারা বস্তুর উপর বলের প্রয়োগবিন্দুর স্থানচ্যুতি ঘটিলে 'কার্য' করা হয়। স্থানচ্যুতি বলের দিকে হইলে বল কার্য করিতেছে বলা হয়, বিপরীত দিকে হইলে বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হইতেছে বলা হইয়া থাকে। বলের মান ও বলের দিকে প্রয়োগবিন্দুর সরণের গুণফল দ্বারা কার্যের পরিমাপ করা হয়।

কার্যের একক ফুট পাউণ্ড ও জুল। **1 ফুট পাউণ্ড = 1·36 জুল।**

ক্ষমতা : কার্য করার হারকে বলের ক্ষমতা বলে। কার্যের পরিমাণকে কার্য করার সময় দ্বারা ভাগ করিয়া প্রাপ্ত ভাগফলকে ক্ষমতা বলে।

শক্তি : কার্য করিবার সামর্থ্যকে শক্তি বলে। শক্তিকে কার্যের এককে প্রকাশ করা হয়।

অশ্বশক্তি (H. P.) : কোনও বল সেকেণ্ডে 550 ফুট পাউণ্ড হারে কার্য করিলে তাহার কাজ করিবার ক্ষমতাকে এক অশ্বশক্তি বলে।

1. H. P. = 746 ওয়াট।

ওয়াট (Watt) : কোনও বল সেকেণ্ডে 10^7 আর্গ পরিমাণ কার্য করিলে তাহার কার্য করিবার ক্ষমতাকে এক ওয়াট বলে।

অনুশীলনী

1. *Define Work, Power and Energy. Explain what you mean by Kinetic energy and Potential energy.*

2. *What will be the work done when a force of 25 poundals is displaced by 120 ft ?* [3000 ফুট-পাউণ্ডাল]

3. *What work will be done in raising a body of 3 Kilogram through a height of 1 metre ?* ($g=980$ *c.m./Sec*^{2}) [29·4 জুল]

4. *What do you understand by Horse Power and Watt ? Find the horse power of a machine which does 66000 ft. lbs. of work in 2 seconds.* [60 H. P.]

5. *Find the Kinetic energy of a mass of 10 gms, which is moving with a velocity of 3 metres, per sec.* [45,000 ergs]

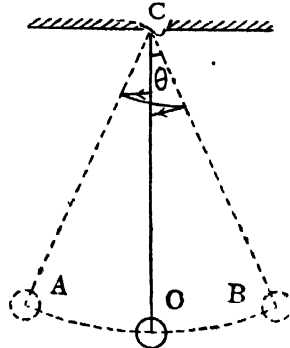
6. *A body of mass 3 pounds is moving with a velocity of 10 ft. per sec. Find the Kinetic energy of the body.* [150 ft. poundals]

7. *Write briefly what you know about conservation of energy, transformation of energy and dissipation of energy.*

ষষ্ঠ অধ্যায়

দোলক, স্থিতিস্থাপকতা ও ঘর্ষণ
[Pendulum, Elasticity and Friction]

সরল দোলক

পরীক্ষা: একটি হালকা সুতায় এক টুকরা লোহা বা যে কোনও ছোট ভারি বস্তু বাঁধিয়া কোনও স্থির অবলম্বন (যেমন হুক বা পেরেক) হইতে ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। ইহা স্বাভাবিক অবস্থায় ঊর্ধ্বাধভাবে ঝুলিয়া থাকিবে। এখন বস্তুটিকে একপাশে অল্প সরাইয়া ছাড়িয়া দিলে ইহা দুলিতে থাকিবে। ইহাকে **সরল দোলক** (Simple Pendulum) বা দোলক বলে।* কিছুক্ষণ ধরিয়া লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে একই সময়ে ইহা এক একটি দোলন সম্পূর্ণ করিতেছে, অর্থাৎ A হইতে B-তে গিয়া আবার A অবস্থানে ফিরিয়া আসিতেছে। সুতাটিকে আরও দীর্ঘ করিয়া দিলে দেখা যাইবে দোলকটি আরও ধীরে ধীরে দুলিতেছে। কিন্তু সুতাটি যত ছোট করা হইবে দোলকও তত দ্রুত দুলিতে থাকিবে। সুতরাং এই সহজ পর্যবেক্ষণ হইতে অনুমান করা যাইতেছে দোলকের দৈর্ঘ্যের উপর উহার দোলনের 'দ্রুততা' নির্ভর করে।

২৩নং চিত্র : সরল দোলক

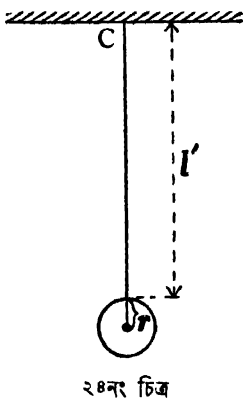
দোলক সম্বন্ধে তথ্যগুলি আরও সুনির্দিষ্টভাবে জানিতে হইলে নিম্নলিখিত কয়েকটি সংজ্ঞা প্রথমে জানা প্রয়োজন।

একটি সম্পূর্ণ দোলন (Complete oscillation): দোলকপিণ্ডটি দোলনের এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্তে গিয়া আবার সেই প্রান্তে ফিরিয়া আসিলে একটি দোলন সম্পূর্ণ হয়। অতএব এক প্রান্ত হইতে অন্য প্রান্তে যাওয়াকে এক অর্ধ-দোলন (Half oscillation) বলা যাইতে পারে। প্রান্ত হইতে শুরু না করিয়া মাঝখানে কোনও অবস্থান (যেমন O) হইতে শুরু করিয়া A অবস্থানে গিয়া ফিরিয়া O-তে আসিলে সম্পূর্ণ-দোলন হইবে না, আবার B-তে গিয়া O-তে আসিলে তবে **সম্পূর্ণ-দোলন** হইবে।

দোলনকাল (Period): একটি সম্পূর্ণ-দোলন শেষ করিতে কোনও দোলক যে সময় লয় তাহাকে উহার দোলনকাল বলে।

* নিভু‍র্লভাবে বলিতে গেলে দোলকের সুতাটি অপ্রসার্য (inextensible) ওজনহীন (weightless) ও নমনীয় (flexible) হওয়া উচিত।

দোলকদৈর্ঘ্য (Length) : দোলকের দোলনবিন্দু C হইতে দোলক-পিণ্ডের ভারকেন্দ্র পর্যন্ত দূরত্বকে দোলকদৈর্ঘ্য বলে।

২৪নং চিত্র

[যে বিন্দুতে কোনও বস্তুর ওজন ক্রিয়া করে তাহাকে উহার ভারকেন্দ্র বলে। গোলকাকার দোলক-পিণ্ডের কেন্দ্র-বিন্দুই উহার ভারকেন্দ্র।]

পার্শ্বের চিত্রে দোলকের দৈর্ঘ্য = সুতার দৈর্ঘ্য + দোলকপিণ্ডের ব্যাসার্ধ।

অর্থাৎ, $l = l' + r$

দোলকের বিস্তার (Amplitude) : স্থির অবস্থান হইতে এক প্রান্তে যতদূর দোলকটি স্থানান্তরিত হয় তাহার কৌণিক দূরত্বকে দোলকের বিস্তার বলে। প্রথম চিত্রে θ (= $\angle$OCA) কোণটি দোলকের বিস্তার।

দোলকের নিয়মাবলী (Laws of Pendulum) : দোলক সম্বন্ধে সূক্ষ্মভাবে পরীক্ষা করিলে, দোলককে যে সকল নিয়ম মানিয়া চলিতে দেখা যায় সেইগুলিকে মোটামুটিভাবে এইরূপ বলা যায় :

(1) **সমকাল নিয়ম** (Law of Isochronism) : বিস্তার একটি নির্দিষ্ট সীমা অতিক্রম না করিলে, বিস্তারের হ্রাসবৃদ্ধি হইলেও দোলকের দোলনকাল অপরিবর্তিত থাকে। গণিতের সাহায্যে প্রমাণ করা যায় যে, বিস্তার 4 ডিগ্রী কোণের অনধিক হইলে তবেই দোলক ঠিক এই নিয়ম মানিয়া চলে।*

কোনও দোলককে দোলাইয়া দিলে উহার বিস্তার ধীরে ধীরে কমিয়া আসিয়া শেষে উহা থামিয়া যায়। কিন্তু যদি বিস্তার 4 ডিগ্রীর বেশী কখনও না হয়, তাহা হইলে যতক্ষণ ইহা দোলে ততক্ষণ দোলনকাল একই থাকে।

(2) **দৈর্ঘ্য সম্বন্ধীয় নিয়ম** : দৈর্ঘ্য বাড়িলে দোলকের দোলনকালও বাড়ে, এবং দৈর্ঘ্য কমিলে দোলনকালও কমে। দোলকের বিস্তার 4 ডিগ্রীর অনধিক হইলে দোলনকাল দোলকদৈর্ঘ্যের বর্গমূলের সহিত সমানুপাতী হয়, অর্থাৎ যদি দোলনকাল ও দোলকদৈর্ঘ্যকে যথাক্রমে T ও l অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়, তাহা হইলে $T \propto \sqrt{l}$ হইবে।

উদাহরণস্বরূপ, কোনও দোলকের দৈর্ঘ্য 4 গুণ বাড়াইলে দোলনকাল $\sqrt{4}$ গুণ বা 2 গুণ বাড়ে; দৈর্ঘ্য 9 গুণ বাড়াইলে, দোলনকাল $\sqrt{9}$ গুণ বা 3 গুণ বাড়ে; দৈর্ঘ্য 16 গুণ বাড়াইলে দোলনকাল $\sqrt{16}$ বা 4 গুণ বাড়ে ইত্যাদি।

*ভূ-পৃষ্ঠের কোনও নির্দিষ্ট স্থানেই ইহা প্রযোজ্য। স্থান পরিবর্তন করিলে পৃথিবীর অভিকর্ষজ ত্বরণ (acceleration due to gravity) পরিবর্তিত হইবে এবং তাহার ফলে দোলনকালও পরিবর্তিত হইবে। 4নং সূত্রে এই বিষয় বলা হইয়াছে।

(3) **দোলকপিণ্ডের ভর ও উপাদান সম্বন্ধীয় নিয়ম :** দোলকের দৈর্ঘ্য যদি অপরিবর্তিত থাকে তাহা হইলে দোলকপিণ্ডের ভর বাড়াইলে বা কমাইলে, অথবা দোলকপিণ্ডের উপাদান পরিবর্তন করিলে (যেমন লোহার পরিবর্তে পিতল লইলে) দোলনকালের পরিবর্তন হয় না।

(4) **অভিকর্ষজ ত্বরণ সম্বন্ধীয় নিয়ম :** কোনও দোলকের দৈর্ঘ্য স্থির রাখিয়া দোলকটি ভূ-পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে লইয়া গেলে উহার দোলনকাল অভিকর্ষজ ত্বরণের বর্গমূলের সহিত ব্যস্ত সমানুপাতী হইবে। অর্থাৎ, দোলনকাল ও অভিকর্ষজ ত্বরণকে যথাক্রমে T ও g অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করিলে, $T \propto \frac{1}{\sqrt{g}}$ হইবে।

দোলনকালের সূত্র : আমরা দেখিলাম :

(i) দৈর্ঘ্য সম্বন্ধীয় নিয়ম : $(T \propto \sqrt{l})$

(ii) অভিকর্ষজ ত্বরণ সম্বন্ধীয় নিয়ম : $\left(T \propto \frac{1}{\sqrt{g}}\right)$

এই দুইটি নিয়মের সংযোগে পাওয়া যায় :

$$T \propto \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$\therefore \quad T = k.\sqrt{\frac{l}{g}}$$, যখন একটি ধ্রুবক।

দেখানো যাইতে পারে, $k = 2\pi$.

সুতরাং, $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

ইহাকে দোলকের দোলনকালের সূত্র সম্বন্ধীয় সমীকরণ বলা হয়।

সেকেণ্ড দোলক (Second's pendulum) : কোনও সরল দোলকের দোলনকাল 2 সেকেণ্ড হইলে তাহাকে সেকেণ্ড দোলক বলে।

উদাহরণ 1 : ভূ-পৃষ্ঠের কোনও স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান 978 সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড হইলে সেই স্থানে সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য কত হইবে ?

সরল দোলকের সূত্র অনুসারে, $l = \frac{gT^2}{4\pi^2} = \frac{g.2^2}{4\pi^2} = \frac{g}{\pi^2}$

$$= \frac{981}{\left(\frac{22}{7}\right)^2}$$

$= 99$ সে. মি. (প্রায়)

উদাহরণ 2: কোনও সরল দোলকের দৈর্ঘ্য 1 গজ হইলে তাহার সম্পূর্ণ দোলনকাল কত ? ($g=32$ ফুট প্রতি সেকেণ্ড^2)

সরল দোলকের সূত্র অনুসারে, $T=2\times\frac{22}{7}\times\sqrt{\frac{1\times3}{32}}$

$=\mathbf{1.924}$ সেকেণ্ড (প্রায়)

উদাহরণ 3: কোনও সরল দোলকের দৈর্ঘ্য 99·2 সে. মি. এবং তাহার সম্পূর্ণ দোলনকাল 2 সেকেণ্ড। অভিকর্ষজ ত্বরণের মান কত ?

সরল দোলকের সূত্র-অনুসারে $g=\frac{4\pi^2l}{T^2}=\frac{4\times(\frac{22}{7})^2\times99.2}{2^2}$

$=\mathbf{980}$ সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড^2।

উদাহরণ 4: কোনও সরল দোলকের দৈর্ঘ্য 20 সে. মি. হইলে উহার দোলনকাল কত হইবে ? $g=980$ সে. মি./সে^{2}.

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}=2\times\frac{22}{7}\times\sqrt{\frac{20}{980}}\text{ সেকেণ্ড}$$

$$=\frac{44}{49}\text{ সেকেণ্ড}$$

উদাহরণ 5: কোনও স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান 978 সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড হইলে সেই স্থানে সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য কত হইবে ?

$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ সূত্রে $T=2$ সে.

$g=978$ সে. মি. / সে. সে.

$\therefore\quad 2=2\pi\sqrt{\frac{l}{978}}$

বা, $1=\pi\sqrt{\frac{l}{978}}$

বা, $1=\pi^2\frac{l}{978}$ [উভয় পক্ষের বর্গ করিয়া]

বা, $l=\frac{978}{\pi^2}=\mathbf{99}$ সে. মি. (প্রায়)

উদাহরণ 6: কোনও সরল দোলকের দৈর্ঘ্য 99·2 সে. মি. এবং সম্পূর্ণ দোলনকাল 2 সেকেণ্ড। অভিকর্ষজ ত্বরণের মান কত ?

সরল দোলকের সূত্র অনুসারে $g=\frac{4\pi^2l}{T^2}=\frac{4\times(\frac{22}{7})^2\times99.2}{2^2}$

$=\mathbf{980}$ সে. মি. / সেকেণ্ড^2

উদাহরণ 7: কোনও স্থানে 108 সে. মি. দীর্ঘ সরল দোলকের দোলনকাল 2·1 সেকেণ্ড হইলে ঐ স্থানে 96 সে. মি. দীর্ঘ সরল দোলকের দোলনকাল কত হইবে ?

দৈর্ঘ সম্বন্ধীয় নিয়ম হইতে আমরা জানি :

$T \propto \sqrt{l}$; $\therefore$ $T = K\sqrt{l}$, যখন K একটি ধ্রুবক।

সুতরাং দুইটি দোলকের দোলনকাল T_1, T_2 এবং উহাদের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l_1, l_2 হইলে :

$T_1 = K.\sqrt{l_1}$
এবং $T_2 = K.\sqrt{l_2}$ | $\therefore \frac{T_1}{T_2} = \frac{\sqrt{l_1}}{\sqrt{l_2}} = \sqrt{\frac{l_1}{l_2}}$

আলোচ্য প্রশ্নে, T_1 = নির্ণেয় | $l_1 = 96$ সে. মি.
$T_2 = 2\cdot1$ সে. | $l_2 = 108$ সে. মি.

$$\therefore \frac{T_1}{2\cdot1} = \sqrt{\frac{96}{108}} = \sqrt{\frac{8}{9}} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

$$\therefore T_1 = \frac{2\sqrt{2}}{3} \times 2\cdot1 = \frac{2 \times 1\cdot41 \times 2\cdot1}{3} = \text{সেকেণ্ড} = \mathbf{1\cdot974}\ \text{সে.}$$

উদাহরণ 8 : কোনও স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান 981 সে. মি./সে./সে. এবং একটি সরল দোলকের দোলনকাল 2 সেকেণ্ড। 978 সে. মি/ সে./সে. অভিকর্ষজ ত্বরণবিশিষ্ট অন্য কোনও স্থানে ঐ দোলকটির দোলনকাল কত হইবে ?

অভিকর্ষজ ত্বরণ সম্বন্ধীয় সূত্র হইতে : $T \propto \frac{1}{\sqrt{g}}$

$\therefore$ g_1, g_2 দুইটি স্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণের মান এবং যথাক্রমে T_1, T_2 ঐ দুইটি স্থানে কোনও নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের দোলকের দোলনকাল হইলে :

$T_1 = K.\sqrt{\frac{1}{g_1}}$
এবং $T_2 = K.\sqrt{\frac{1}{g_2}}$ | যখন K = একটি ধ্রুবক

$\therefore \frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{g_2}{g_1}}$ | আলোচ্য প্রশ্নে
T_1 = নির্ণেয় | $g_1 = 978$ সে. মি./সে. সে
$T_2 = 2$ সে. | $g_2 = 981$ সে. মি/সে. সে

$$\therefore \frac{T_1}{2} = \sqrt{\frac{981}{978}}; \quad \therefore T_8 = 2.\sqrt{\frac{981}{978}} = \mathbf{2\cdot00306}\ \text{সে.}$$

উদাহরণ 9 : কোনও স্থানে 49 সে. মি. দীর্ঘ সরল দোলকের দোলনকাল 1·4 সেকেণ্ড। উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলে ঐ দোলকের দৈর্ঘ্য 0·284 সে. মি. প্রসারিত হইলে উহার দোলনকাল কত হইবে ?

$$\therefore \frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{l_1}{l_2}} = \sqrt{\frac{l_1}{l_2}}$$

আলোচ্য প্রশ্নানুসারে, T_1 = নির্ণেয় | $l_1 = 49$ সে. মি.
$T_2 = 1{\cdot}4$ সে | $l_2 = 49{\cdot}284$ সে. মি.

$$\therefore \frac{T_1}{1{\cdot}4} = \sqrt{\frac{49}{49{\cdot}284}} = \frac{7}{7{\cdot}02}$$

$$\therefore \quad T_1 = \frac{7 \times 1{\cdot}4}{7{\cdot}02} = \frac{9{\cdot}8}{7{\cdot}02} \text{ সে.} = \mathbf{1{\cdot}396} \text{ সে.}$$

দোলকের দোলন সম্বন্ধীয় সূত্রগুলির পরীক্ষা :—

1. সমকাল নিয়মের পরীক্ষা

পিতলের একটি ছোট গোলককে লম্বা সুতায় বাঁধিয়া কোনও স্থির অবলম্বন হইতে ঝুলাইয়া দিয়া একটি সরল দোলক প্রস্তুত করা হইল। গোলকটি একপাশে সামান্য একটু টানিয়া (4° কৌণিক বিস্তারের কম) ছাড়িয়া দিলে উহা দুলিতে থাকিবে।

এখন ঘড়ির সাহায্যে কুড়িটি সম্পূর্ণ দোলনের মোট সময় নির্ণয় করা হইল। দোলনের মোট সময়কে দোলন সংখ্যা দ্বারা ভাগ করিয়া দোলনকাল (Time period) বাহির করা হইল।

এইরূপে দোলকটিকে বিভিন্ন বিস্তারে (প্রতি ক্ষেত্রেই কৌণিক বিস্তার 4°র কম রাখিয়া) দোলাইয়া পূর্বের পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করা হইল। পরীক্ষার পর দেখা যায়, প্রতিক্ষেত্রেই দোলনকালের পরিমাণ একই হইতেছে। পরীক্ষালব্ধ ফল সমকাল নিয়ম সম্বন্ধীয় সূত্রের (Law of isochronism) সত্যতা প্রমাণ করিতেছে।

2. দৈর্ঘ্য সম্বন্ধীয় নিয়মের পরীক্ষা

একটি সরল দোলক প্রস্তুত করিয়া সুতার দৈর্ঘ্যের সহিত দোলকের ববের (bob) ব্যাসার্ধ যোগ করিয়া দোলকের দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হইল। এইবার দোলকটিকে একপাশে সামান্য একটু টানিয়া (4° কৌণিক বিস্তারের কম) ছাড়িয়া দিলে দোলকটি দুলিতে থাকিবে। এখন ঘড়ির সাহায্যে কুড়িটি সম্পূর্ণ দোলনের মোট সময় নির্ণয় করিয়া সম্পূর্ণ দোলনকালের মান বাহির করা হইল।

বিভিন্ন গোলক দৈর্ঘ্য লইয়া এই পরীক্ষাটি কয়েকবার করা হইল।

যদি বিভিন্ন পরীক্ষায় প্রাপ্ত দোলনকালের মান $T_1, T_2, \cdots\cdots$ হয় এবং দোলকের দৈর্ঘ্য $l_1, l_2, \ldots\ldots$ হয়, তাহা হইলে দেখা যাইবে,

$$\frac{T_1}{\sqrt{l_1}} = \frac{T_2}{\sqrt{l_2}} \ldots\ldots = \text{ধ্রুবক}$$

লব্ধফল দোলকের দৈর্ঘ্য সম্বন্ধীয় সূত্রের (Law of length) সত্যতা প্রমাণ করিতেছে।

3. অভিকর্ষজ ত্বরণ সম্বন্ধীয় নিয়মের পরীক্ষা

দোলক দৈর্ঘ্য নির্দিষ্ট রাখিয়া পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে পরীক্ষা দ্বারা একটি সরল দোলকের দোলনকাল নির্ণয় করা হইল। বিভিন্ন স্থানের দোলনকালের

মান $T_1, T_2, \ldots\ldots$ হইলে এবং ঐ সকল স্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণের মান g_1, $g_2, \ldots\ldots$ হইলে দেখা যায়,

$$T_1 \sqrt{g_1} = T_2 \sqrt{g_2} = \ldots\ldots \text{ধ্রুবক}$$

লব্ধফল দোলকের অভিকর্ষজ ত্বরণ সম্বন্ধীয় নিয়মের (Law of gravity) সত্যতা প্রমাণ করিতেছে।

4. দোলক ববের ভর ও উপাদান সম্বন্ধীয় নিয়মের পরীক্ষা

দোলকের দৈর্ঘ্য নির্দিষ্ট রাখিয়া পৃথিবীর কোনও এক স্থানে একই উপাদানে প্রস্তুত বিভিন্ন ভরের বব (bob) বা একই ভরের বিভিন্ন উপাদানের বব (bob) ব্যবহার করিয়া পরীক্ষা দ্বারা সরল দোলকের দোলনকাল নির্ণয় করা হইল। দেখা যায় যে, দোলনকাল সকল দোলকের ক্ষেত্রে একই থাকে। লব্ধফল ববের ভর ও উপাদান সম্বন্ধীয় নিয়মের সত্যতা প্রমাণ করিতেছে।

সরল দোলকের সাহায্যে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান নির্ণয়

পিতল বা অন্য কোনও ধাতুর একটি গোলককে লম্বা সুতায় (প্রায় এক মিটার) বাঁধিয়া কোনও স্থির অবলম্বন হইতে ঝুলাইয়া দিয়া একটি সরলদোলক প্রস্তুত করা হইল।

দোলকের দৈর্ঘ্যের সহিত ববের (bob) ব্যাসার্ধ যোগ করিয়া দোলকের দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হইল।

এইবার দোলকটি একপাশে সামান্য একটু টানিয়া (কৌণিক বিস্তার 4°র কম) ছাড়িয়া দিলে দোলকটি দুলিতে থাকিবে।

এখন ঘড়ির সাহায্যে কুড়িটি সম্পূর্ণ দোলনের মান নির্ণয় করিয়া একটি সম্পূর্ণ দোলনের সময় অর্থাৎ দোলনকাল (Time period) নির্ণয় করা হইল।

আমরা জানি, কোনও দোলকের দোলকদৈর্ঘ্য l এবং অভিকর্ষজ ত্বরণের স্থানীয় মান g হইলে, দোলনকাল $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. সুতরাং $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$.

এই সমীকরণে l, T এর মান বসাইলে, gর মান পাওয়া যাইবে।

বিভিন্ন দোলকদৈর্ঘ্যের জন্য দোলনকাল নির্ণয় করিয়া সমীকরণে $\frac{l}{T^2}$ এর গড় মান বসাইলে g এর মান (প্রায়) সঠিক পাওয়া যায়।

কয়েকটি প্রয়োজনীয় উদাহরণ:

সরল দোলকের সূত্র $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ হইতে দেখা যায় T এর মান l এবং g এর উপর নির্ভরশীল। কোনও কারণে ইহাদের পরিবর্তন হইলে T এর মানও পরিবর্তিত হইবে। এই প্রকার কয়েকটি উদাহরণ বিবেচনা করা যাক্:

(1) একটি সরল দোলককে ভূ-পৃষ্ঠের উপর হইতে কোনও উচ্চ স্থানে (যেমন পর্বতের চূড়ায়) বা ভূগর্ভে কোনও খনির মধ্যে লইয়া গেলে উভয় ক্ষেত্রেই g এর

মান কমিয়া যাইবে। সুতরাং T এর মান বাড়িয়া যাইবে অর্থাৎ ঘড়িটি স্লো চলিবে। ভূ-পৃষ্ঠের উপর বিভিন্ন অক্ষাংশে দোলকটি লইয়া গেলেও g এর মান পরিবর্তিত হওয়ার জন্য T এর মান পরিবর্তিত হইবে।

(2) কোনও সরল দোলকের পিণ্ডটি নীরেট না হইয়া যদি ফাঁপা হয়, কিন্তু উহার ব্যাসার্ধ যদি সমান থাকে তাহা হইলে পিণ্ডটির ভারকেন্দ্রের কোনও পরিবর্তন হয় না, কারণ ফাঁপা অথবা নীরেট সকল গোলকের কেন্দ্রই উহাদের ভারকেন্দ্র। সুতরাং উভয় ক্ষেত্রেই দোলকদৈর্ঘ্য সমান থাকে এবং দোলনকাল T অপরিবর্তিত থাকে।

(3) ফাঁপা দোলকপিণ্ডবিশিষ্ট কোনও সরল দোলকের ফাঁপা অংশটি যদি কোনও পদার্থ দ্বারা সম্পূর্ণ ভরাট করা হয় তাহা হইলেও উহার ভারকেন্দ্র স্থির থাকে। সুতরাং দোলনকালও স্থির থাকে। কিন্তু যদি ফাঁপা অংশ আংশিক পূর্ণ হয় তাহা হইলে ভারকেন্দ্র নীচে নামিয়া যায় এবং দোলনকালও বাড়িয়া যায়।

স্থিতিস্থাপকতা
[Elasticity]

আমরা জানি, একটি স্প্রিংকে বাঁকাইতে বল প্রয়োগ করিতে হয়। স্প্রিংটিকে সামান্য বাঁকাইয়া ছাড়িয়া দিলে তাহা পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়া যায়। বিভিন্ন বস্তু লইয়া এইরূপ পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে তাহাদের আকার বা আয়তন পরিবর্তনের জন্য সর্বদাই বল প্রয়োগ করিতে হয় এবং আকার বা আয়তনের পরিবর্তন সামান্য হইলে বস্তুটি বল অপসারণের পর পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়া আসে। সুতরাং বলা যাইতে পারে যে পদার্থমাত্রেই তাহার আকার ও আয়তন পরিবর্তনকারী বলকে পরিবর্তনের বিরুদ্ধে বাধা দেয় এবং বল অপসৃত হইলে এই বাধা-সৃষ্ট বলের জন্যই পরিবর্তনের অবলুপ্তি ঘটে। পদার্থের এই ধর্মকে **'স্থিতিস্থাপকতা'** বলে। যে পদার্থের বাধা সৃষ্টি করার ক্ষমতা বেশী এবং যাহা দ্রুত পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়া যায়, তাহার স্থিতিস্থাপকতাও বেশী। ইস্পাতের একটি তারকে টানিয়া বেশী লম্বা করা যায় না, কিন্তু রবারকে টানিয়া অতি সহজেই লম্বা করা যায়। এক্ষেত্রে ইস্পাতের প্রতিরোধ ক্ষমতা রবারের চেয়ে বেশী। আবার বল অপসৃত হইলে ইস্পাত অতি অল্প সময়ের মধ্যেই তাহার পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়া আসে, কিন্তু রবার পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়া আসিতে অধিক সময় লইয়া থাকে। সুতরাং **ইস্পাত রবার অপেক্ষা অনেক বেশী স্থিতিস্থাপক** (elastic)।

পীড়ন (Stress) ও **বিকৃতি** (Strain)ঃ বাহির হইতে প্রযুক্ত বল দ্বারা কোনও বস্তুর আকার বা আয়তনের পরিবর্তন করার চেষ্টা করিলে বস্তুর স্থিতিস্থাপকতা ধর্মের জন্য আভ্যন্তরীণ প্রতিরোধ-বলের সৃষ্টি হয়। এই আভ্যন্তরীণ বলই বস্তুকে পূর্বের অবস্থায় ফিরাইয়া লইয়া যায়। একক বর্গ ক্ষেত্রে এই প্রতিরোধ-বলের মানকে 'পীড়ন' বলে। নিউটনের তৃতীয় সূত্র

অনুসারে প্রযুক্ত বল ও প্রতিরোধ-বল পরস্পর সমান। সেইজন্য প্রযুক্ত বলের সাহায্যেই প্রতিরোধ-বলের পরিমাপ করা হয়।

∴ পীড়ন = একক বর্গক্ষেত্রে প্রযুক্ত বলের মান

$$= \frac{\text{প্রযুক্ত বল}}{\text{যে তলের উপর বল ক্রিয়াশীল তাহার ক্ষেত্রফল}}$$

পীড়নকে সি. জি. এস. পদ্ধতিতে 'ডাইন প্রতি বর্গসেন্টিমিটার' এবং এফ পি. এস. পদ্ধতিতে 'পাউণ্ডাল প্রতি বর্গফুট' এইভাবে প্রকাশ করা হয়।

বলপ্রয়োগ দ্বারা বস্তুতে আকার বা আয়তনের যে পরিবর্তন সৃষ্ট হয় তাহাকে **বিকার** (deformation) বলে। বল প্রয়োগের পূর্বে বস্তুর দৈর্ঘ্য যদি L হয় এবং বল প্রয়োগের ফলে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির পরিমাণ যদি l হয়, তাহা হইলে, $\frac{l}{L}$ এই অনুপাতকে **দৈর্ঘ্য-বিকৃতি** (longitudinal strain) বলে। বল প্রয়োগের পূর্বে কোনও বস্তুর আয়তন যদি V হয় এবং বল প্রয়োগের ফলে তাহার আয়তনের পরিবর্তন যদি v হয়, তাহা হইলে $\frac{v}{V}$ এই অনুপাতকে **আয়তন-বিকৃতি** (volume strain) বলে। বস্তুর আকারগত বিকৃতির (shearing strain) পরিমাণও অনুরূপভাবেই করা হইয়া থাকে। এক কথায় বিকৃতিকে আনুপাতিক বিকার (fractional deformation or fractional change) বলা যাইতে পারে। **বিকৃতির কোনও একক নাই, ইহা সংখ্যামাত্র।**

রবার্ট হুক্ পরীক্ষা দ্বারা দেখাইয়াছেন যে সাধারণত একটি নির্দিষ্ট পীড়ন-সীমা পর্যন্ত পীড়ন ও বিকৃতি পরস্পর সমানুপাতী, কিন্তু পীড়নের মান ক্রমশ বৃদ্ধি করিলে দেখা যায় যে একটি নির্দিষ্ট সীমার পর তাহারা আর সমানুপাতী থাকে না, বিকৃতি পীড়নের তুলনায় বাড়িয়া যায়। এই সীমার ঊর্ধ্বে বল অপসারণের পর বস্তু আর পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়া আসে না; বল-সৃষ্ট পরিবর্তন স্থায়ী হইয়া যায়। পীড়নের মাত্রা আরও বর্ধিত করিলে বস্তুটি অনেকক্ষেত্রে দুই অংশে বিভক্ত হইয়া যাইতে পারে। পীড়নের যে মান পর্যন্ত পীড়ন ও বিকৃতি পরস্পর সমানুপাতী থাকে তাহাকে বস্তুর উপাদানের **স্থিতিস্থাপক সীমা** (elastic limit) বলে। বিভিন্ন উপাদানের জন্য এই সীমা বিভিন্ন।

হুক-এর সূত্র

[Hooke's law]

রবার্ট হুক্-এর পরীক্ষালব্ধ ফলকে নিম্নলিখিত সূত্র দ্বারা প্রকাশ করা হয়। ইহাকে হুক্-এর সূত্র বলে।

"স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে পীড়ন ও বিকৃতি পরস্পর সমানুপাতী।"

সুতরাং, গণিতের নিয়ম অনুসারে লেখা যায়, $\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃত}} = \text{ধ্রুবক}$

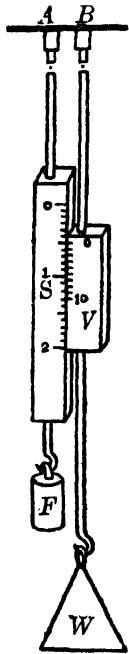
এই ধ্রুবককে **স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্ক** (modulus of elasticity) বলে। যেহেতু বিকৃতি সংখ্যামাত্র, সুতরাং এই ধ্রুবকের একক ও পীড়নের একক একই হইবে।

ইয়ং গুণাঙ্ক (Young's modulus) : L দৈর্ঘ্য ও A প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট একটি তারকে কোনও স্থির অবলম্বনের যে কোনও বিন্দুতে এক দিক বাঁধিয়া অপর দিকে W ওজন ঝুলাইয়া দিলে যদি দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধির পরিমাণ l হয়, তাহা হইলে পীড়ন ও বিকৃতির অনুপাতের মান হইবে—

$$\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}} = \frac{\frac{W}{A}}{\frac{l}{L}} = \frac{W.L}{A\ l} \qquad \cdots\cdots(i)$$

পীড়ন স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে থাকিলে এই অনুপাতটি হুক্-এর সূত্র অনুসারে একটি ধ্রুবক হইবে। এই ধ্রুবককে **ইয়ং গুণাঙ্ক** বলে।

অনুরূপভাবে আয়তনবিকার ও আকৃতি বিকারের জন্য গুণাঙ্কের সংজ্ঞা দেওয়া যাইতে পারে।

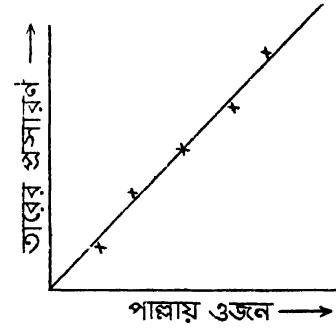
ইয়ং গুণাঙ্ক নির্ণয় : যে পদার্থের গুণাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে তাহা দ্বারা প্রস্তুত দুইটি সমান দৈর্ঘ্যের তার লওয়া হয়। একটি তারের (চিত্রে A) নীচে একটি স্কেল S এবং তাহার নীচে একটি ওজন F ঝুলানো আছে। অপর তারের (চিত্রে B) নীচে একটি ভার্নিয়ার V এবং একটি পাল্লা ঝুলানো আছে। B তারটিই পরীক্ষণীয় তার (experimental wire), পাল্লায় প্রথমে এমন ওজন রাখা হয় যাহাতে B তারটি টান অবস্থায় আসে। এই ওজনকে প্রারম্ভিক ওজন (Dead load) বলে। এই অবস্থায় B তারটির দৈর্ঘ্য (L) স্কেল দ্বারা এবং বিভিন্ন স্থানের ব্যাস (d) স্ক্রু গজ দ্বারা মাপা হয়। তারপর ভার্নিয়ার ও স্কেলের পাঠ লওয়া হয়। পাল্লায় আরও ওজন চাপানো হয়। ইহাতে B তারটি প্রসারিত হয় এবং ভার্নিয়ার নামিয়া আসে। এখন আবার স্কেল ও ভার্নিয়ারের পাঠ লওয়া হয়। প্রথম ও দ্বিতীয় পাঠের ব্যবধান হইতে ওজন দ্বারা তারে উৎপন্ন প্রসারণ l পাওয়া যায়।

২৫নং চিত্র : ইয়ং গুণাঙ্ক

P পাল্লার প্রারম্ভিক ওজনের উপর অতিরিক্ত ওজন M এবং অভিকর্ষজ ত্বরণ g হইলে (i) নং সূত্রে $W = Mg$ হইবে। তারের বৃত্তাকার প্রস্থচ্ছেদের ব্যাস d হইলে ঐ প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2$ হইবে। সুতরাং (i) সূত্র হইতে পাওয়া যাইবে :

$$Y = \frac{WL}{Al} = \frac{MgL}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 l}$$

এখন সূত্রের ডানদিকের সবগুলি রাশি নির্ণীত হওয়ায় Y-এর মান নির্ণয় করা যায়। P পাল্লার ওজন ধাপে ধাপে বাড়ানো হয় এবং প্রত্যেকবার স্কেল ও ভার্নিয়ারের পাঠ লওয়া হয়। প্রত্যেক পাঠ হইতেই সূত্র সাহায্যে Y-এর মান নির্ণয় করিয়া তাহার গড় লওয়া হয়।

সতর্কতা : P পাল্লার ওজন যেন কখনও পরীক্ষণীয় তারের স্থিতিস্থাপক-সীমা (elastic limits) অতিক্রম না করে। এ বিষয় লক্ষ্য রাখা হয়।

হুকের সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা (Verification of Hooke's Law): পূর্বোক্ত পরীক্ষায় পাল্লায় চাপানো ওজন (প্রারম্ভিক ওজন বাদ দিয়া) ও তারের প্রসারণকে ভূজ ও অক্ষ বরাবর স্থাপন করিয়া একটি লেখ-চিত্র অঙ্কন করিলে একটি সরল রেখা পাওয়া যাইবে। এই সরলরেখা হইতে জানা যাইবে তারের পীড়ন ও বিকৃতি সমানুপাতিক। সুতরাং সরলরৈখিক লেখ দ্বারাই হুকের সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হইবে।

২৬নং চিত্র : হুকের সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা

উদাহরণ : তিন মিটার দৈর্ঘ্য ও ·00981 বর্গ সে. মি. প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট একটি তারে 4 কিলোগ্রাম ওজন ঝুলাইলে তাহার দৈর্ঘ্য ·6 মিলিমিটার বৃদ্ধি পায়। অভিকর্ষজ ত্বরণের পরিমাণ 981 সে. মি· প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড হইলে তারের উপাদানের ইয়ং গুণাঙ্ক কত ?

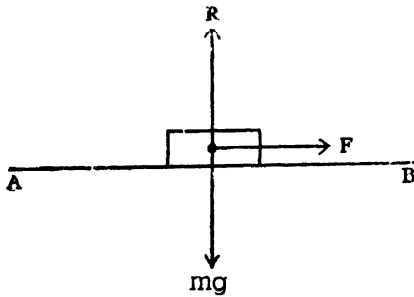
$$\text{ইয়ং গুণাঙ্ক} = \frac{4 \times 1000 \times 981 \times 3 \times 100}{\cdot 00981 \times \cdot 06}$$

$$= 2 \times 10^{12} \text{ ডাইন প্রতিবর্গ সে. মি.}$$

ঘর্ষণ
[Friction]

ঘরের মেঝের উপর কোনও একটি ভারী বস্তুকে টানা হইলে বস্তুর স্থানচ্যুতির বিরুদ্ধে বাধা অনুভূত হয়। বস্তুর নিম্নতল ও মেঝের তলে যে অমসৃণতা আছে তাহাই বাধার কারণ। এই বাধাকে ঘর্ষণ বলে। ঘর্ষণের বাধা যে বলের সৃষ্টি করে তাহাই বস্তুর স্থানচ্যুতিকে ব্যাহত করে। কোনও বস্তু একটি সমতলের উপর বিনা আবর্তনে চলিবার সময় যে ঘর্ষণের সৃষ্টি হয় তাহাকে বিসর্প ঘর্ষণ (sliding friction) বলে। এই বিসর্প ঘর্ষণ তল দুইটির প্রকৃতি (মসৃণ বা অমসৃণ) ও উপাদান এবং পরস্পর সংযুক্ত তলের উপর লম্বভাবে ক্রিয়াশীল বলের পরিমাণের উপর নির্ভর করে। ইহা বস্তু দুইটির পরস্পর সংলগ্ন তলের পরিমাণ ও তাহাদের গতির উপর বিশেষ নির্ভর করে না। পরীক্ষা দ্বারা

প্রমাণিত হইয়াছে যে একটি বস্তুর উপর অনুভূমিক তলে অপর একটি বস্তুকে বল-প্রয়োগ দ্বারা চালিত করিলে প্রযুক্ত বল ও বস্তুর ভারের (পরস্পর সংলগ্ন তলের উপর লম্বভাবে ক্রিয়াশীল বল) অনুপাত একটি ধ্রুবক হয়। এই ধ্রুবককে সংলগ্ন তল দুইটির **বিসর্প ঘর্ষণ গুণাঙ্ক** (coefficient of sliding friction) বলে।

পরীক্ষা দ্বারা আরও প্রমাণিত হইয়াছে যে চলমান অবস্থায় প্রাপ্ত ঘর্ষণ গুণাঙ্ক (coefficient of sliding friction) যাত্রা শুরু করার ঠিক পূর্ব মুহূর্তে লব্ধ ঘর্ষণ গুণাঙ্ক (coefficient of limiting friction) অপেক্ষা সামান্য কম।

২৭নং চিত্র : ঘর্ষণ

মনে করা যাক্ AB একটি অনুভূমিক অমসৃণ তল। ইহার উপর অবস্থিত m ভরবিশিষ্ট বস্তুটি F বলপ্রয়োগ দ্বারা চলিতেছে। বস্তুটি AB তলের উপর ইহার ভার দ্বারা বল-প্রয়োগ করিতেছে। নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুসারে অনুভূমিক তলটি বস্তুর উপর বিপরীত দিকে সমান প্রতিবল R প্রয়োগ করিতেছে। সুতরাং বস্তু দুইটির পরস্পর সংলগ্ন তলের উপর লম্বভাবে ক্রিয়াশীল বলের পরিমাণ $=mg=R$.

$$\therefore \text{ বিসর্প ঘর্ষণ গুণাঙ্ক} = \frac{F}{R}$$

যদি বস্তুটি বলপ্রয়োগের ফলে f ত্বরণসহ চলে তাহা হইলে,

$$\text{বিসর্প ঘর্ষণ গুণাঙ্ক} = \frac{F}{R} = \frac{mf}{mg} = \frac{f}{g} \text{ হইবে।}$$

উদাহরণ : একটি বস্তু 3 মিটার প্রতি সেকেণ্ড প্রাথমিক বেগসহ একটি অমসৃণ তলে যাত্রা শুরু করিয়া 5 মিটার দূরত্ব অতিক্রম করিয়া থামিয়া গেল। গতিশীল বস্তু ও অনুভূমিক তলের বিসর্প ঘর্ষণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

আমরা জানি, $v^2=u^2+2fs$.

এক্ষেত্রে v (অন্তবেগ) $=0$, u (প্রাথমিক বেগ) $=3$ মিটার প্রতি সেকেণ্ড $=300$ সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড, $s=$(অতিক্রান্ত দূরত্ব) $=5$ মিটার $=$ $=500$ সে. মি.

যেহেতু ঘর্ষণজনিত বাধার জন্য বস্তুর উপর মন্দন $(-f)$ সৃষ্টি হইয়াছে, সুতরাং,

$$0^2=300^2-2.f.500$$

$$\therefore \quad f=\frac{300^2}{1000}=90 \text{ সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড}^2$$

$$\therefore \quad \text{বিসর্প ঘর্ষণ গুণাঙ্ক} = \frac{f}{g} = \frac{90}{981} = {\cdot}092 \text{ (প্রায়)}$$

কোনও বস্তুর নিম্নতল সমতল হইলে তাহাকে অপর একটি সমতলের উপর টানিতে যে বলপ্রয়োগ করিতে হয় বস্তুটির নীচে চাকা লাগাইলে তাহা অপেক্ষা অনেক কম বলের প্রয়োজন হয়। কোনও গোলাকার বস্তু অপর একটি বস্তুর উপর আবর্তনসহ (গড়াইয়া) চলিতে থাকিলে যে ঘর্ষণের সৃষ্টি হয় তাহাকে আবর্ত ঘর্ষণ (rolling friction) বলে। কারখানায় ব্যবহৃত বিভিন্ন যন্ত্রে বিসর্প ঘর্ষণকে আবর্ত ঘর্ষণে রূপান্তরিত করার জন্য মিশ্র ধাতুতে প্রস্তুত বিয়ারিং (bearing) ব্যবহার করা হয়। সাধারণত যন্ত্রের হালকা অংশের ঘর্ষণ হ্রাস করিবার জন্য বল বিয়ারিং (ball bearing) এবং ভারী অংশের ঘর্ষণ হ্রাস করিবার জন্য রোলার বিয়ারিং (roller bearing) ব্যবহার করা হয়।

ঘর্ষণের পরিমাণ হ্রাস করার জন্য যন্ত্রের পরস্পর ঘর্ষণশীল বিভিন্ন অংশে তৈল, চর্বি, ভেসলিন প্রভৃতি পিচ্ছিল পদার্থ ব্যবহার করা হয়। যে পিচ্ছিল পদার্থ ঘর্ষণকালে সংলগ্ন তল হইতে সহজে অপসৃত না হয়, তাহা বহুল পরিমাণে ঘর্ষণ হ্রাস করিয়া থাকে।

সারাংশ

সরল দোলক : একটি অপ্রসার্য হালকা সূতায় কোনও ছোট ভারী বস্তু বাঁধিয়া স্থির অবলম্বন হইতে ঝুলাইয়া দিলে সরল দোলক প্রস্তুত হয়। সরল দোলকের দৈর্ঘ্য স্থির থাকিলে এবং বিস্তার (amplitude) 4° কোণের অনধিক হইলে উহার দোলনকাল দোলকের বিস্তার, দোলকপিণ্ডের ভর, উপাদান বা আয়তনের উপর নির্ভর করে না; কেবল দৈর্ঘ্যের বর্গমূলের সহিত দোলনকাল সমানুপাতী হয়। একই দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট দোলক স্থানান্তরে লইয়া গেলে দোলনকাল অভিকর্ষজ ত্বরণের বর্গমূলের ব্যস্ত সমানুপাতী হয়।

পীড়ন ও বিকৃতি : আকার বা আয়তন পরিবর্তনের জন্য বস্তুর উপর বলপ্রয়োগ করিলে যে আভ্যন্তরীণ প্রতিরোধ-বলের সৃষ্টি হয়, একক বর্গক্ষেত্রে তাহার মানকে পীড়ন বলে। বলপ্রয়োগের জন্য বস্তুতে যে বিকার ঘটে তাহার আনুপাতিক মানকে বিকৃতি বলে।

হুক্-এর সূত্র : স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে পীড়ন ও বিকৃতি পরস্পর সমানুপাতী।

বিসর্প ঘর্ষণ : কোনও বস্তুর সমতলের উপর বিনা আবর্তনে চলমান অবস্থায় যে ঘর্ষণের সৃষ্টি হয় তাহাকে বিসর্প ঘর্ষণ বলে।

আবর্ত ঘর্ষণ : কোনও গোলাকার বস্তু অপর একটি বস্তুর উপর আবর্ত ঘর্ষণসহ চলিতে থাকিলে যে ঘর্ষণের সৃষ্টি হয় তাহাকে আবর্ত ঘর্ষণ বলে।

আবর্ত ঘর্ষণের ক্ষেত্রে ঘর্ষণজনিত বল বিসর্প ঘর্ষণ অপেক্ষা অনেক কম হয়। যন্ত্রে ঘর্ষণ হ্রাস করিকার জন্য তৈল, চর্বি, ভেসলিন প্রভৃতি পদার্থ ব্যবহৃত হয়।

অনুশীলনী

1. *What is a simple pendulum? Define the following terms and explain them with diagrams : length of a pendulum, time period and amplitude.*

2. *State the laws of simple pendulum. Write down the equation which express them.*

3. *What do you understand by 'elasticity'? Explain with reasons which one, rubber or iron, is more elastic.*

4. *Define : Stress, Strain and Young's modulus. State Hooke's law. Explain what you mean by elastic limit.*

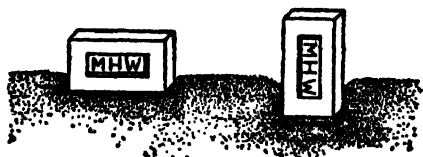
5. *What do you understand by sliding friction and rolling friction? In which type of friction is lesser frictional force developed? How is the friction reduced in machines?*

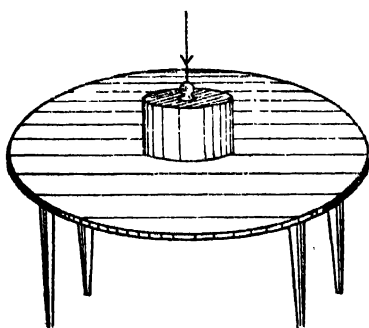
6. *A wire of length 110 c.m and diameter 2 m.m. is stretched by a weight of 4 kilograms. If the elongation produced is 2 m.m., find the Young's modulus of the material of the wire.*

[$6{\cdot}86 \times 10^9$ ডাইন/বর্গ সে. মি.]

তরল পদার্থের চাপ ও ঘাত
[Pressure and Thrust of liquids]

চাপ সম্বন্ধে ধারণা

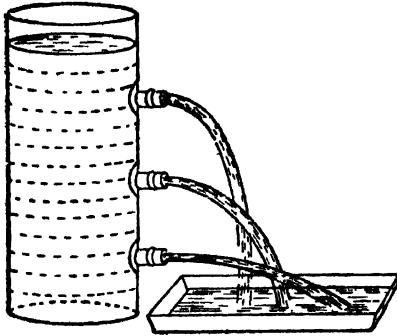
একখানি ইটকে নরম কাদায় চিত্রের প্রথম অবস্থানের মতো শোওয়াইয়া রাখিলে উহা কাদায় অল্প পরিমাণে ডুবিয়া যায়। কিন্তু দ্বিতীয় অবস্থানের মতো খাড়া ভাবে রাখিলে বেশী প্রোথিত হয়। ইহার কারণ স্বরূপ বলা যায়, কাদায় যত বেশী চাপ দেওয়া হইবে ততই ইটখানি বেশী পরিমাণে প্রোথিত হইবে। তাহা হইলে খাড়া অবস্থায় নিশ্চয়ই ইটখানি কাদার উপর বেশী চাপ দিতেছে। ইটখানির ওজন একই আছে, কিন্তু দ্বিতীয় অবস্থানে কাদার যতটা তলের উপর ঐ ওজন ক্রিয়া করিতেছে তাহা প্রথম অবস্থানের তুলনায় কম। সুতরাং দেখা যাইতেছে তলের পরিমাণ যত কম হইবে চাপের পরিমাণ তত বেশী হইবে। এইজন্য চাপের এইরূপ সংজ্ঞা নির্দেশ করা হইয়াছে :

২৮নং চিত্র : কাদায় ইট রাখিয়া চাপ সম্বন্ধে পরীক্ষা

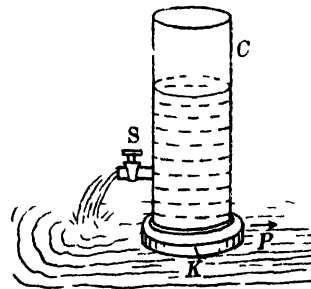
সংজ্ঞা : কোনও তলের প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর যে বল ক্রিয়া করে তাহাকে ঐ তলের উপর চাপ (Pressure) বলে।

২৯নং চিত্র : টেবিলের উপর চাপ ও ঘাত

মনে করা যাক্, a বর্গ সে. মি. ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি টেবিলের উপর W গ্রামের ওজন চাপানো হইয়াছে। তাহা হইলে ঐ টেবিলের উপর চাপের পরিমাণ = প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারের $\frac{W}{a}$ গ্রাম-এর ওজন।

এফ. পি. এস. এককে ঐ তলের পরিমাণ b বর্গফুট এবং ওজন P পাউণ্ড হইলে চাপের পরিমাণ = প্রতি বর্গফুটে $\frac{P}{b}$ পাউণ্ডের ওজন।

ঘাত : কোনও তলের উপর মোট যতখানি বল প্রযুক্ত হয় তাহাকে ঐ তলের ঘাত (Thrust) বলে। উপরের উদাহরণে টেবিলের তলের উপর ঘাত = W গ্রাম-এর ওজন অথবা P পাউণ্ডের ওজন।

প্রথম পরীক্ষা : পার্শ্বদেশে উপর হইতে নীচে পরপর কয়েকটি ছিদ্র আছে এইরূপ একটি ফাঁপা সিলিণ্ডার বা চোঙ লওয়া হইল। এখন চোঙটি জলপূর্ণ করিলে দেখা যাইবে প্রত্যেক ছিদ্র-পথেই জল বাহির হইতেছে; কিন্তু সবগুলি জলধারার বেগ সমান নহে। লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে উপরের ছিদ্রপথের জলধারার বেগ সর্বাপেক্ষা কম, তাহার ঠিক নীচেরটিতে তাহা অপেক্ষা বেগ একটু বেশী, এইরূপে যত নীচের দিকে যাওয়া যায় জলধারার বেগও তত বৃদ্ধি পায় এবং জলধারা তত দূরে গিয়া পড়ে। ছিদ্রপথে ভিতর হইতে জল পার্শ্বদেশে যে পরিমাণ চাপ দিতেছে সেই পবিমাণে জলধারা দূরে নিক্ষিপ্ত হইতেছে। সুতরাং **তরল পদার্থের গভীরতা যত বাড়ে পার্শ্বচাপও তত বাড়ে।**

৩০নং চিত্র : গভীরতার সহিত জলের পার্শ্বচাপের বৃদ্ধি

দ্বিতীয় পরীক্ষা : পার্শ্বচাপের পরীক্ষা (Lateral pressure) নীচের দিকে স্টপকক্ সংযুক্ত একটি সিলিণ্ডার লওয়া হইল। স্টপকক্ বন্ধ রাখিয়া তাহার প্রায় তিন-চতুর্থাংশ জলে পূর্ণ কবা হইল। এই অবস্থায় ইহাকে জলে ভাসমান কাঠেব একটি বড় চাকতির উপর এরূপভাবে বসান হইল যাহাতে জলপূর্ণ সিলিণ্ডারটিও ভাসমান অবস্থায় থাকে। এখন স্টপককটি খুলিয়া দিলে ইহা হইতে জল বাহির হইয়া আসিবে এবং বহির্গত জলধারার বিপরীত দিকে ভাসমান সিলিণ্ডারটি চলিতে থাকিবে।

৩১নং চিত্র

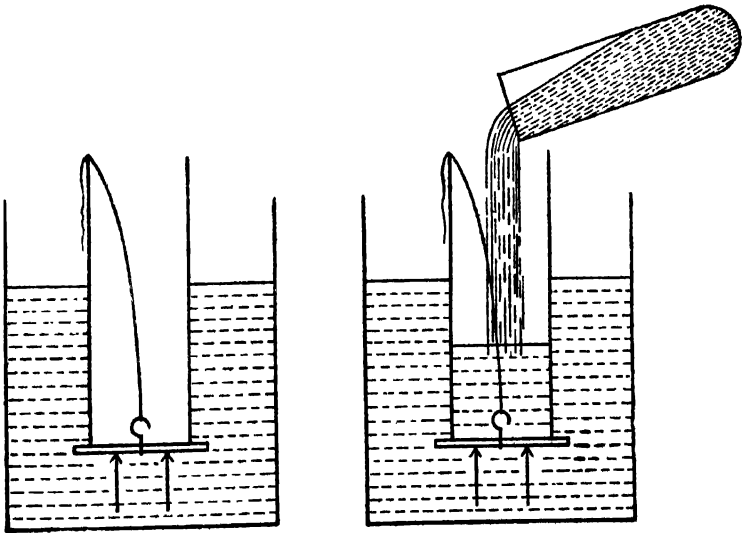
উপরে বর্ণিত পরীক্ষাটি জলের পার্শ্বচাপের ফলে ঘটিতেছে। পার্শ্বচাপের জন্য স্টপকক্ দিয়া জল বাহির হইতেছে এবং পার্শ্বচাপসৃষ্ট বলের প্রতিক্রিয়ার জন্য ভাসমান সিলিণ্ডারটি বিপবীত দিকে চলিতেছে।

তৃতীয় পরীক্ষা : পরপৃষ্ঠার চিত্রের মতো আকারের একটি জলের কুঁজা লইয়া উহার a, b, c, d ও e স্থানে একটি করিয়া সরু ফুটা করিয়া লইতে হইবে। এখন কুঁজাটি জলে পূর্ণ করিলে দেখা যাইবে প্রত্যেক ছিদ্রপথেই জল বাহির হইতেছে, কিন্তু a বিন্দুতে উপরের দিকে, e বিন্দুতে নীচের দিকে,

c বিন্দুতে পাশের দিকে এবং অন্য দুইটি বিন্দুতে কোনাকুনি জল বাহির হইতেছে। সুতরাং দেখা যাইতেছে, **তরল পদার্থের চাপ সকল দিকেই ক্রিয়া করে।**

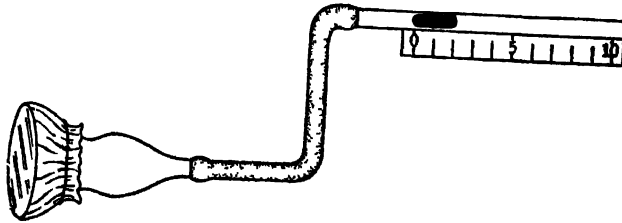
৩২নং চিত্র : পাত্রের গায়ের সহিত লম্বভাবে জলের চাপের ক্রিয়া

এই পরীক্ষাটি হইতে আরও একটি বিষয় জানা যায়। a, b, c প্রভৃতি প্রত্যেকটি ছিদ্রপথে জলের ধারা কুঁজার গায়ের সহিত লম্বভাবে বাহির হইতেছে। এখন যে দিকে জলের চাপের ক্রিয়া, জলের ধারাও নিশ্চয়ই সেই দিকেই বাহির হইবে। সুতরাং কোনও পাত্রে রক্ষিত **তরল পদার্থের চাপ সর্বত্র পাত্রের তরল সংলগ্ন দেওয়ালের সহিত লম্বভাবে ক্রিয়া করে।**

চতুর্থ পরীক্ষা : একটি দুইমুখ খোলা চোঙ ও একটি চাকতি লওয়া হইল। চাকতিটি খুব হালকা হইবে এবং উহা দ্বারা যেন চোঙের খোলা মুখ বন্ধ করা যায়। চাকতিটির মাঝখানে একটি হুক লাগাইয়া উহার সহিত একগাছি সুতা

৩৩নং চিত্র : কোনও গভীরতায় উর্ধ্বচাপ ও নিম্নচাপের সমতা

বাঁধা হইল। এখন নিম্নের বামপার্শ্বের চিত্রের মতো করিয়া চাকতির দ্বারা চোঙের এক মুখ বন্ধ করিয়া সুতাটি টানিয়া ধরা হইল এবং একটি জলপূর্ণ বড় জারের (Jar) জলের মধ্যে ডুবাইয়া দেওয়া হইল। এখন সুতাটি ছাড়িয়া দিলে দেখা

যাইবে, চাকতিটি পড়িতেছে না। জলের ঊর্ধ্বচাপের জন্য উহা চোঙের সহিত সংলগ্ন হইয়া আছে। এখন উপর হইতে ধীরে ধীরে চোঙের ভিতরে জল ঢালিলে (ডান দিকের চিত্র) দেখা যাইবে চাকতিটি পড়িতেছে না। যখন চোঙের ভিতরের জল বাহিরের জলের সহিত এক সমতলে আসে, তখনই চাকতিটি পড়িয়া যায়। ইহার কারণস্বরূপ বলা হয়, চাকতির উপরের জল চাকতির উপর নিম্নচাপ দিতেছে। জলের উচ্চতা যত বাড়িতেছে, জলের ওজন এবং নিম্নচাপের পরিমাণও তত বাড়িতেছে। চোঙের ভিতরের ও বাহিরের জলের উচ্চতা সমান হইলে চাকতির উপর জলের নিম্নচাপ ও ঊর্ধ্বচাপ সমান হয় এবং তখন চাকতিটি নিজের ভারের জন্য নীচে পড়িয়া যায়। অতএব দেখা গেল, **যে কোনও নির্দিষ্ট গভীরতায় তরল পদার্থের নিম্নচাপ ও ঊর্ধ্বচাপ সমান।**

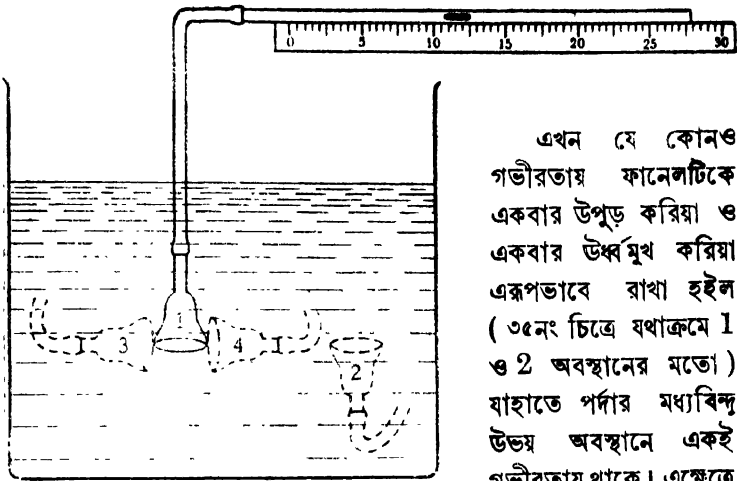
একটি প্রয়োজনীয় যন্ত্র: তরল পদার্থের চাপ সম্বন্ধীয় নানাবিধ তথ্য জানিতে হইলে এই যন্ত্রটি বিশেষ কাজে লাগে। ইহা পরীক্ষাগারে প্রস্তুত করিয়া লওয়া যায়। একটি কাচের কূপীর (ফানেল) মুখ এক টুকরা পাতলা রবার দ্বারা এমনভাবে বাঁধিতে হইবে যেন উহার ভিতরে জল প্রবেশ করিতে না পারে। ফানেলের সরু নলটির সহিত একটি রবারের নল সংযুক্ত করিয়া নলের অপর

৩৪নং চিত্র: তরলের চাপ মাপিবার যন্ত্র

প্রান্ত আবার একটি কাচের নলের সহিত সংযুক্ত করা হয়। কাঁচের নলটির ভিতর এক বিন্দু পারদ অথবা যে কোনও রঙিন তরল পদার্থ প্রবেশ করাইয়া নলটিকে অনুভূমিক অবস্থায় স্থির রাখা হয়। নলের গায়ে একটি স্কেল সংলগ্ন থাকে।

যন্ত্রটি ব্যবহারের মূলনীতি: রবারের পর্দাটির উপর আঙুল দিয়া চাপ দিলে দেখা যাইবে পারদবিন্দুটি ডান দিকে অর্থাৎ বাহিরের দিকে সরিয়া যাইতেছে। যত জোরে চাপ দেওয়া যায় পর্দাটি তত ফানেলের ভিতরের দিকে বাঁকিয়া যায় এবং পারদবিন্দুও তত ডানদিকে সরিয়া যায়। ফানেল, রবারের নল এবং কাচের নলের মধ্যে বায়ু রহিয়াছে; পর্দায় চাপ দিলে সেই চাপ ঐ বায়ুর দ্বারা বাহিত হইয়া পারদবিন্দুকে ঠেলিয়া দেয়। স্কেলের উপর পারদবিন্দুর অবস্থান হইতে পর্দার উপর চাপের পরিমাণ সম্বন্ধে ধারণা করা যাইতে পারে।

যন্ত্রটি দ্বারা নিম্নবর্ণিত পরীক্ষাগুলি করা যাইতে পারে:

পঞ্চম পরীক্ষা: একটি বড় জলপূর্ণ পাত্র লইয়া উহার মধ্যে ফানেলটি উপুড় করিয়া ধীরে ধীরে ডুবাইয়া দেওয়া হইল। ফানেলটি যত নীচে নামে

পারদবিন্দুও তত ডান দিকে সরিয়া যায়। সুতরাং তরল পদার্থের মধ্যে ঊর্ধ্বচাপ গভীরতা অনুসারে বাড়ে—এই তথ্যটির আর একটি প্রমাণ পাওয়া গেল।

৩৫নং চিত্র : কোনও গভীরতায় তরলের সকলদিকের চাপের সমতা

এখন যে কোনও গভীরতায় ফানেলটিকে একবার উপুড় করিয়া ও একবার ঊর্ধ্বমুখ করিয়া এরূপভাবে রাখা হইল (৩৫নং চিত্রে যথাক্রমে 1 ও 2 অবস্থানের মতো) যাহাতে পর্দার মধ্যবিন্দু উভয় অবস্থানে একই গভীরতায় থাকে। এক্ষেত্রে দেখা যায়, উভয় ক্ষেত্রেই পারদবিন্দু একই অবস্থানে আছে। কিন্তু উপুড় করা অবস্থায় পর্দার উপর ঊর্ধ্বচাপ এবং সোজা অবস্থায় নিম্নচাপ ক্রিয়া করিতেছে। সুতরাং কোনও নির্দিষ্ট গভীরতায় তরল পদার্থের নিম্নচাপ ও ঊর্ধ্বচাপ সমান—এই তথ্যটিও আর একবার প্রমাণিত হইল।

এইবার ফানেলটিকেও 3 ও 4 অবস্থানের ন্যায় রাখা হইল যাহাতে পর্দার উপর জলের পার্শ্বচাপ পড়ে এবং পর্দার কেন্দ্রবিন্দু যেন সকল অবস্থানে একই গভীরতায় থাকে। অতঃপর ফানেলটি ঐভাবে ধরিয়া (অর্থাৎ যাহাতে পর্দাটি ঊর্ধ্বাধভাবে থাকে) বিভিন্ন দিকে ঘোরান হইল। দেখা যাইবে সর্বদাই পারদবিন্দু একই অবস্থানে রহিয়াছে। সুতরাং প্রমাণিত হইল, **তরল পদার্থের মধ্যে কোনও নির্দিষ্ট গভীরতায় ঊর্ধ্বচাপ, নিম্নচাপ, পার্শ্বচাপ অথবা এক কথায় সকলদিকের চাপই সমান।**

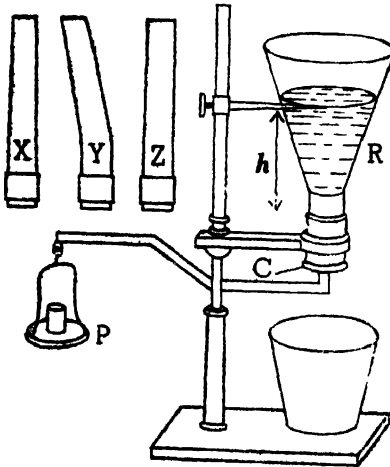
ষষ্ঠ পরীক্ষা : দুইটি বড় কাঁচের সিলিণ্ডার লওয়া হইল এবং উহাদের একটিকে জল দ্বারা এবং অপরটিকে তুঁতের দ্রবণ দ্বারা প্রায় পূর্ণ করা হইল। এখন জলপূর্ণ সিলিণ্ডারে যন্ত্রের ফানেলটিকে যে কোনও নির্দিষ্ট গভীরতা পর্যন্ত ডুবাইয়া পারদবিন্দুর অবস্থান লক্ষ করা হইল। এইবার ফানেলটি তুলিয়া তুঁতের দ্রবণে একই গভীরতা পর্যন্ত ডুবাইলে দেখা যাইবে পারদবিন্দু প্রথমবার অপেক্ষা বেশী ডান দিকে সরিয়া গিয়াছে। কিন্তু পূর্বে আমরা দেখিয়াছি জলে কোনও দ্রব্য মিশাইয়া দ্রবণ প্রস্তুত করিলে জল অপেক্ষা ঐ দ্রবণের ঘনত্ব বেশী হয়। অতএব জল অপেক্ষা তুঁতের দ্রবণের ঘনত্ব বেশী। সুতরাং প্রমাণিত হইল, একই

গভীরতায় যে তরল পদার্থের ঘনত্ব বেশী, তাহার চাপও বেশী ; অথবা **তরল পদার্থের চাপ উহার ঘনত্ব অনুসারে বৃদ্ধি পায়**

উপরের পরীক্ষাগুলি হইতে তরল পদার্থের চাপ সম্বন্ধে নিম্নলিখিত নিয়মগুলি জানা গেল :

1. তরল পদার্থের অভ্যন্তরে সর্বদা এবং সবদিকে চাপ বর্তমান।
2. যে পাত্রে তরল পদার্থ থাকে, উহার তরল সংলগ্ন দেওয়ালের সহিত লম্বভাবে তরল পদার্থ চাপ প্রয়োগ করে।
3. কোনও বিন্দুতে ঊর্ধ্বচাপ, নিম্নচাপ, পার্শ্বচাপ প্রভৃতি যে কোনও দিকের চাপ সমান
4. তরল পদার্থের চাপ উহার গভীরতার সহিত বৃদ্ধি পায়।
5. তরল পদার্থের চাপ উহার ঘনত্বের সহিত বৃদ্ধি পায়।

তরলের চাপ ও পাত্রের আকার

প্রথম পরীক্ষা: ম্যাসন-এর পরীক্ষা (Mason's Experiment)**:** তরলের চাপ পাত্রের আকারের উপর নির্ভর না করিয়া তরলস্তম্ভের উচ্চতার উপর নির্ভর করে—এই নিয়মটির সত্যতা নির্ধারণের জন্য এই পরীক্ষাটি উদ্ভাবিত হইয়াছে। X, Y, Z ও R বিভিন্ন আকারের চারিটি দুইমুখ খোলা কাঁচের পাত্র। ইহাদের প্রত্যেকের নীচের বৃত্তাকার প্রান্ত সমান ব্যাসার্ধবিশিষ্ট।* C প্লেটটির ব্যাসার্ধও ঐ ব্যাসার্ধের ঠিক সমান এবং প্লেটটির দ্বারা প্রত্যেক পাত্রকে নীচের দিকে বন্ধ করিয়া দেওয়া যায়। প্লেটটি একটি লিভারের (Lever) একপ্রান্তে সংলগ্ন এবং মাঝখানে একটি আলম্ব (Fulcrum) F-এর উপর লিভারটি ঘুরিতে পারে। লিভারের অপর প্রান্তে একটি পাল্লা P ঝুলানো আছে।

৩৬নং চিত্র : ম্যাসন-এর পরীক্ষা

পাল্লার উপর যে কোনও ওজন চাপাইয়া একটি পাত্র R-কে প্লেটের ঠিক উপরে ক্ল্যাম্পের সাহায্যে খাড়াভাবে ধরিয়া রাখা হইল। এখন পাত্রে জল ঢালিলে প্লেটের উপর চাপ পড়িবে। জলের উচ্চতা যত বাড়িবে এই চাপও তত বাড়িবে। পাল্লার উপর রাখা ওজনই এই চাপকে ধারণ করিবার উপযুক্ত বল প্রয়োগ করিতেছে। শেষ পর্যন্ত দেখা যাইবে প্লেট আর জলের চাপ ধারণ করিতে

* এই পাত্রগুলিকে Pascal's Vases বলে।

পারিতেছে না। চাপ বেশী হওয়ার জন্য প্লেটটি নীচে নামিয়া যাওয়ায় ফাঁক দিয়া অতিরিক্ত জল বাহির হইয়া যাইতেছে। ঠিক যতটা উচ্চতা পর্যন্ত জলকে প্লেটটি ধারণ করিতে পারে সেইখানে জলের উপরিতলকে একটি কাঁটা দ্বারা চিহ্নিত করা হইল।

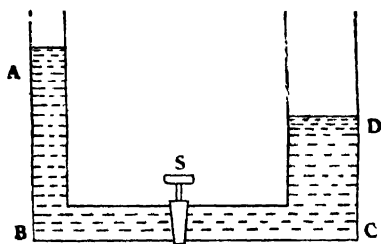
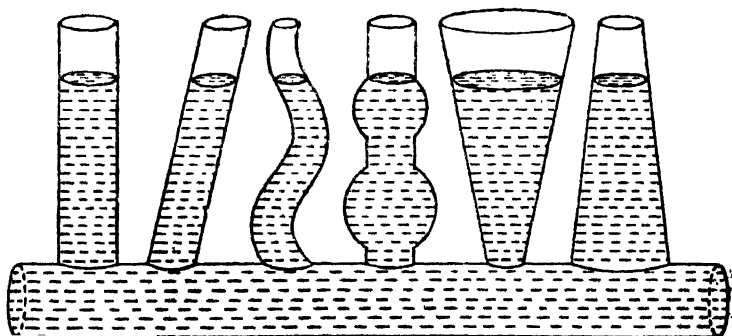
তারপর R পাত্রটি সরাইয়া একে একে X, Y, Z পাত্রগুলি লইয়া পরীক্ষাটির পুনরাবৃত্তি করা হইল। দেখা যাইবে প্রত্যেকবার একই উচ্চতা পর্যন্ত তরলকে নীচের প্লেট ধারণ করিতেছে।

প্লেটের উপর বিভিন্ন পাত্রে বিভিন্ন ভরের তরল লওয়া হইল, কিন্তু উহাদের প্রত্যেকের দ্বারা প্রদত্ত চাপ নিশ্চয়ই সমান এবং সেইজন্য প্লেটটির উপর মোট ঘাতও সমান। কারণ একই ওজনের দ্বারা প্রত্যেক পাত্রের জল সমান উচ্চতা পর্যন্ত ধারণ করা সম্ভব হইতেছে। অতএব **তরলের চাপ তরলস্তম্ভের উচ্চতার উপরই নির্ভর করে; পাত্রের আকারের উপর নির্ভর করে না।**

এই পরীক্ষাকে ইহার আপাত অসম্ভাব্যতার জন্য ঔদকূট (Hydrostatic Paradox) বলা হয়।

দ্বিতীয় পরীক্ষা : ৩৭নং চিত্রের মতো আকারের একটি ইউ-নল (U-tube) লওয়া হইল। ইহার AB অংশ সরু এবং CD অংশ মোটা। BC অংশের মধ্য ভাগে S একটি স্টপকক বা চাবি। উহা বন্ধ রাখিলে দুইটি অংশের মধ্যে কোনও যোগাযোগ থাকে না। নলটির উভয় অংশে জল ঢালা হইল। মনে করা যাক্, AB অংশের জলের উচ্চতা বেশী।

৩৭নং চিত্র : জলের সমোচ্চশীলতা

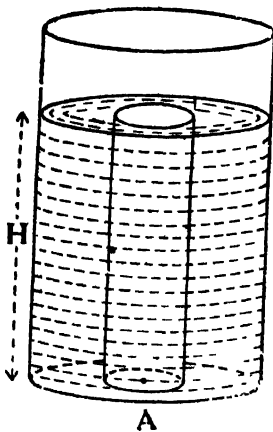
এখন S স্টপককটি খুলিয়া দেওয়া হইল। দেখা যাইবে, AB অংশ হইতে CD

৩৮নং চিত্র : জলের সমোচ্চশীলতা

অংশের দিকে জল প্রবাহিত হইতেছে। যখন উভয় অংশের জলের উচ্চতা সমান

হইল, তখন জল প্রবাহিত হওয়া বন্ধ হইল। ইহার কারণ কি? AB নলের নীচে জলের গভীরতা CD নলের নীচের জলের গভীরতা হইতে বেশী, সুতরাং চাপও বেশী। অতএব চাবি খুলিয়া দিলে বেশী চাপের দিক হইতে কম চাপের দিকে জল প্রবাহিত হইবে। শেষ পর্যন্ত উভয় বিন্দুর গভীরতা এক হইলে অর্থাৎ উভয় নলে জল এক অনুভূমিক তলে আসিয়া দাঁড়াইলে জলের প্রবাহও বন্ধ হইবে।

নানারূপ আকারের কয়েকটি নল দুইমুখ বন্ধ একটি অনুভূমিক নলের সাহায্যে সংযুক্ত আছে। যে কোনও নলের মুখে জল ঢালিলে দেখা যাইবে, সংযোগকারী নলটির পথে জল বিভিন্ন পাত্রে উঠিয়া একই অনুভূমিক তলে গিয়া দাঁড়ায়।

সুতরাং দেখা যাইতেছে পরস্পর সংযুক্ত কতকগুলি পাত্রে তরল পদার্থ ঢালিলে তরল পদার্থের উপরিতল সর্বত্র একই অনুভূমিক তলে দাঁড়ায়। ইহাকে তরলের সমোচ্চশীলতা বা সম-লেভেল-প্রবণতা বলে।

শহরের জল সরবরাহ: জলের সমোচ্চশীলতাকে কাজে লাগাইয়া শহরে জল সরবরাহ করা হয়। পাম্পের সাহায্যে উচ্চে অবস্থিত বড় ট্যাঙ্কের উপর প্রথমে জল তোলা হয়। মোটা মেইন পাইপের (main pipe) দ্বারা শহরের সমস্ত রাস্তা ঐ ট্যাঙ্কের সহিত সংযুক্ত থাকে। আবার মেইন পাইপ হইতে সরু পাইপ প্রত্যেক বাড়ির ভিতরে কলের মুখ পর্যন্ত গিয়া শেষ হয়। জল সর্বত্র উঁচু ট্যাঙ্কের সমান উচ্চতায় যাইতে চেষ্টা করে, সেইজন্য কলের চাবি খুলিলেই বেগে জল বাহির হয় এবং অনেক সময় উঁচু বাড়ির ছাদেও জল উঠে। অবশ্য নানাবিধ কারণে উঁচু ট্যাঙ্কের সমান উচ্চতায় জল উঠে না।

৩৯নং চিত্র: চাপের পরিমাণ

তরলস্তম্ভের চাপ: একটি তরলের পাত্রের নীচে কোনও বিন্দুতে চাপের পরিমাণ কত? মনে করা যাক্, পাত্রটির তলদেশে A বিন্দুতে চাপের পরিমাণ নির্ণয় করিতে হইবে। A বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া একটি একক পরিমাণ তল কল্পনা করিলে ঐ একক তলের উপর যে বল ক্রিয়া করিবে তাহাই A বিন্দুতে প্রযুক্ত চাপ। কিন্তু ঐ একক তলের উপর যে তরলস্তম্ভ দাঁড়াইয়া আছে তাহার ওজনই A বিন্দুর উপর প্রযুক্ত বল।

এখন ঐ পাত্রের তরলের গভীরতা H সে. মি. হইলে, পূর্বোক্ত তরলস্তম্ভের আয়তন = উহার উচ্চতা × উহার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $= H \times 1 = H$ সি. সি.

সুতরাং, ঐ তরলস্তম্ভের ভর = উহার আয়তন × ঘনত্ব

$= H \times D$ গ্রাম (ঐ তরলের ঘনত্ব প্রতি সি. সি.-তে D গ্রাম হইলে)।

সুতরাং অভিকর্ষজ ত্বরণ $= g$ সে. মি./সেকেণ্ড^2 হইলে A বিন্দুর চাপ, $P = H \times D \times g$ ডাইন/প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটার।

উদাহরণ 1 : জলের ঘনত্ব প্রতি সি. সি.-তে 1 গ্রাম হইলে, 10 মিটার জলের নীচে কোনও বিন্দুতে চাপ কত হইবে ? [$g = 981$ সে. মি. সেকেণ্ড^2]

এখানে $H = 10$ মি. $= 1000$ সে. মি.

$D =$ প্রতি সি. সি.-তে 1 গ্রাম.

$\therefore$ নির্ণেয় চাপ $= 1000 \times 1 \times 981$ ডাইন/বর্গ সে. মি.

$= 981{,}000$ ডাইন / বর্গ সে. মি.

উদাহরণ 2 : পারদের ঘনত্ব প্রতি সি. সি.-তে 13·6 গ্রাম হইলে, 76 সে. মি. পারদস্তম্ভের নীচে চাপের পরিমাণ কত ?

এখানে $H = 76$ সে. মি. ; $D =$ প্রতি সি. সি.-তে 13·6 গ্রাম

সুতরাং, চাপ $= H \times D \times g = 76 \times 13{\cdot}6 \times 98$ ডাইন/বর্গ সে. মি. $= 101{,}3{,}962$ ডাইন/বর্গ সে. মি.

$P = HD$ ভরের ওজন, এই সূত্র হইতে দেখা যাইতেছে কোনও তরলের নীচের চাপের পরিমাণ কেবল গভীরতা H-এর উপর নির্ভর করে, পাত্রের আকারের উপর কিছুই নির্ভর করে না। পূর্বে পরীক্ষা করিয়া ইহা দেখা গিয়াছে।

৪০নং চিত্র : বিভিন্ন ঘনত্বের সমচাপবিশিষ্ট দুইটি তরলস্তম্ভ

যদি H_1 ও H_2 উচ্চতাবিশিষ্ট দুইটি বিভিন্ন তরলস্তম্ভের চাপ সমান হয় এবং উহাদের ঘনত্ব যথাক্রমে D_1 ও D_2 হয়, তাহা হইলে,

$$H_1 D_1 g = H_2 D_2 g \text{ হইবে।}$$

উদাহরণ 3 : 34 ফুট উচ্চ জলস্তম্ভের চাপের সহিত কত উচ্চ পারদ-স্তম্ভের চাপ সমান হইবে ? পারদের ঘনত্ব প্রতি সি. সি.-তে 13·6 গ্রাম।

মনে করা যাক্,

$H_1 =$ পারদস্তম্ভের উচ্চতা

$D_1 =$ পারদের ঘনত্ব $=$ প্রতি সি. সি.-তে 13·6 গ্রাম

$H_2 =$ জলস্তম্ভের উচ্চতা $= 34$ ফুট

$D_2 =$ জলের ঘনত্ব $=$ প্রতি সি. সি.-1 গ্রাম

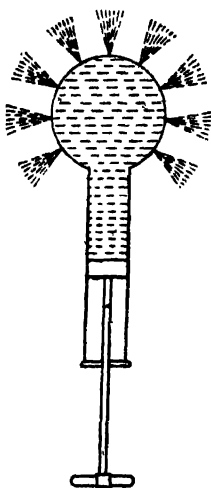
সুতরাং, $H_1 D_1 g = H_2 D_2 g$ সূত্র অনুসারে,

$$H_1 \times 13{\cdot}6 = 34 \text{ ফুট} \times 1$$

$$\therefore \quad H_1 = \frac{34}{13{\cdot}6} \text{ ফুট}$$

$$= 30 \text{ ইঞ্চি (প্রায়)}$$

তরল পদার্থের চাপের সঞ্চালন
[Transmission of Pressure in Liquids]

প্রথম পরীক্ষা: চিত্রের মতো সম্মুখে ফাঁপা গোলকযুক্ত একটি পিচকারি লইয়া একটি সহজ পরীক্ষা করা যায়। ফাঁপা গোলকটির উপর চারিপাশে অনেকগুলি ছোট ছোট ছিদ্র থাকা চাই। পিচকারিটি জলে পূর্ণ করিয়া পিস্টনে চাপ দিলে দেখা যাইবে ছোট ছোট ছিদ্রগুলি দিয়া সবদিকে সমান বেগে জল বাহির হইতেছে। পিস্টনের সাহায্যে যে চাপ দেওয়া হইল তাহা জলের মধ্যে সর্বত্র সমানভাবে সঞ্চালিত হওয়ার ফলেই এইরূপ হইল।

৪১নং চিত্র : জলের চাপ-সঞ্চালন

দ্বিতীয় পরীক্ষা: মনে করা যাক্, ABCD নলটির AB অংশ অপেক্ষা CD অংশের প্রস্থচ্ছেদ 10 গুণ বড়। সুতরাং P_1 পিস্টন অপেক্ষা P_2 পিস্টনের ক্ষেত্রফলও 10 গুণ বড়। এখন P_2 পিস্টনের উপর 10 কিলোগ্রাম ওজন রাখিলে P_1 পিস্টনের উপর 1 কিলোগ্রাম দ্বারা উভয়কে স্থিরভাবে ধরিয়া রাখা যাইবে।

মনে করা যাক্, P_1 পিস্টনের ক্ষেত্রফল $= a$ বর্গ একক।

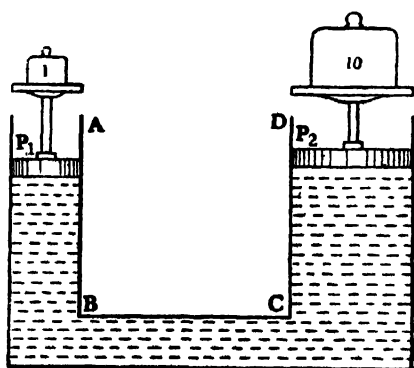
তাহা হইলে, P_2 পিস্টনের ক্ষেত্রফল $= 10a$ বর্গ একক

কিন্তু, $\dfrac{10 \text{ কিলো ওজন}}{10a \text{ বর্গ একক}} = \dfrac{1 \text{ কিলো ওজন}}{a \text{ বর্গ একক}}$

$\therefore$ P_2 পিস্টনের উপর জলের চাপ $=$ P_1 পিস্টনের উপর প্রযুক্ত জলের চাপ।

৪২নং চিত্র : বলের গুণিতক বৃদ্ধি

সুতরাং, এই পরীক্ষা হইতে দেখা যাইতেছে P_1 পিস্টনের উপর যে চাপ প্রযুক্ত হইল, তাহা তরল পদার্থের দ্বারা বাহিত হইয়া P_2 পিস্টনের উপর প্রযুক্ত হইল। ইহাতে চাপের পরিমাণও অপরিবর্তিত রহিল।

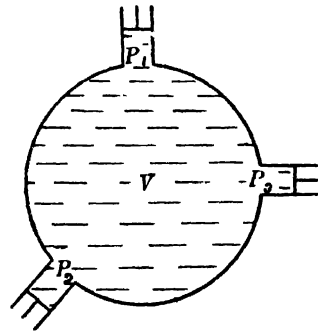
এই দুইটি পরীক্ষায় তরল পদার্থের চাপ-সঞ্চালন সম্বন্ধে যে তথ্যটি জানা গেল তাহাকে প্যাসকালের সূত্র (Pascal's Law) বলে। মনে রাখিতে হইবে পাত্রের তরল বদ্ধ অবস্থায় থাকা চাই, কোথাও বাহিরের সহিত

যোগাযোগ থাকিলে চাপ-সঞ্চালনের এই নিয়ম কার্যকর হইবে না। প্যাসকালের সূত্রটি এইরূপ :

প্যাসকালের সূত্র

পাত্রে বদ্ধ তরলের কোনও অংশে চাপ প্রয়োগ করিলে সেই চাপ তরলের দ্বারা সর্বত্র সঞ্চালিত হয় এবং প্রযুক্ত চাপের সমান চাপ সর্বত্র পাত্রের তরল সংলগ্ন দেওয়ালের সহিত লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

প্যাসকাল সূত্রের পরীক্ষা

কয়েকটি নল ও পিস্টন সংযুক্ত একটি গোলাকার ধাতব পাত্রের মধ্যে জল বা অন্য কোনও তরল পদার্থ লওয়া হইল। চিত্রে V একটি জলপূর্ণ গোলাকার ধাতব পাত্র। P_1, P_2,···পাত্র সংলগ্ন নলের মধ্যস্থিত পিস্টন। নলের মধ্যে পিস্টন-গুলি এরূপভাবে অবস্থিত যে পাত্রের মধ্যস্থিত জল বা অন্য কোনও তরল চুয়াইয়া বাহির হইতে পারে না। মনে করা যাক্, পিস্টনগুলির ক্ষেত্রফল $a_1, a_2 \cdots$।

এখন P_1 পিস্টনে F_1 বল প্রয়োগ করিলে অর্থাৎ ইহাতে $\frac{F_1}{a_1}$ পরিমাণ চাপ প্রয়োগ করিলে দেখা যায় অপর পিস্টনগুলিও ঠেলিয়া বাহির হইয়া আসিতেছে। সুতরাং বলা যায় P_1 পিস্টনে প্রযুক্ত চাপ অন্যান্য পিস্টনেও সঞ্চালিত হইয়াছে। যেহেতু নল ও পিস্টন পাত্রের যে কোনও স্থানে সংযুক্ত হইতে পারে সুতরাং বলা যাইতে পারে, পাত্রে আবদ্ধ তরলের কোনও স্থানে চাপ প্রয়োগ করিলে তাহা তরলের মাধ্যমে সর্বত্র সঞ্চালিত হয়।

৪৩নং চিত্র

এখন যে পিস্টনগুলি ঠেলিয়া বাহির হইয়া আসিতেছে, বিপরীত দিকে বল প্রয়োগ করিয়া যদি তাহাদিগকে বাহির হইয়া আসিতে না দেওয়া হয় এবং বিভিন্ন পিস্টনে প্রযুক্ত বলের পরিমাণ যদি F_2, F_3,······ হয় তাহা হইলে দেখা যায়,

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{F_3}{a_3}$$

সুতরাং বলা যায়, P_1 পিস্টনে প্রযুক্ত চাপ $\left(=\frac{F_1}{a_1}\right)$ অন্যান্য পিস্টনেও সম-ভাবে সঞ্চালিত হইয়াছে। পরীক্ষালব্ধ ফল প্যাসকাল সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করিতেছে।

বলের গুণিতক বৃদ্ধি (Multiplication of force) : পূর্বে বর্ণিত দ্বিতীয় পরীক্ষাটি হইতে দেখা যাইবে প্যাসকালের সূত্র অনুসারে কোনও বদ্ধ তরলের একাংশে বল প্রয়োগ করিল তাহা অপরাংশে বহুগুণে বর্ধিত হইতে

পারে। মনে করা যাক্, সরু ও মোটা পিস্টনের উপর প্রযুক্ত বল যথাক্রমে F_1 ও F_2. এখন তরলের চাপ P হইলে F_1=চাপ×সরু পিস্টনের ক্ষেত্রফল $=P\times a$ একক এবং F_2=চাপ×মোটা পিস্টনের ক্ষেত্রফল$=P\times 10a$ একক।

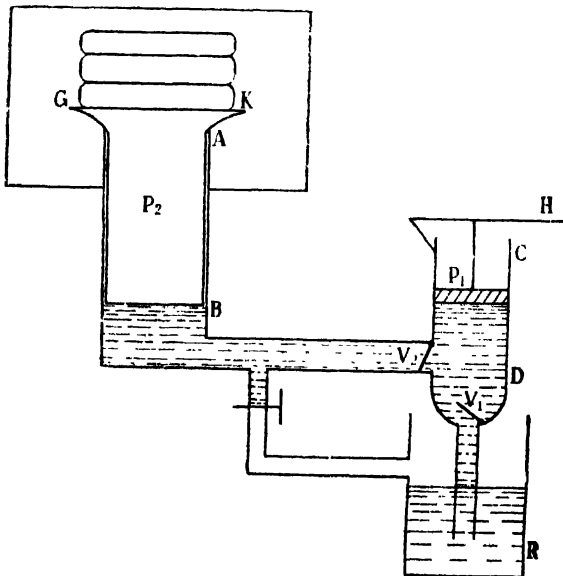
$$\text{সুতরাং, } \frac{F_2}{F_1}=\frac{10Pa}{Pa}=10\text{ ; অর্থাৎ } F_2=10F_1$$

অতএব সরু পিস্টনের উপর প্রযুক্ত বলকে 10 গুণ বৃদ্ধি করা সম্ভব হইল। ইহাকে বলের গুণিতক বৃদ্ধি বলে।

এইরূপে কম বল প্রয়োগ করিয়া তাহাকে প্রয়োজন মত বাড়াইয়া লওয়ায় অনেক কাজের সুবিধা হয়। $\frac{F_2}{F_1}$ এই অনুপাতটি হইতে বলের কতগুণ বৃদ্ধি হইল তাহা জানা যায়, এইজন্য অনুপাতটিকে **যান্ত্রিক সুবিধা** (Mechanical Advantage) বলে। অর্থাৎ, যান্ত্রিক সুবিধা= $\frac{\text{বর্ধিত বল}}{\text{প্রযুক্ত বল}}$

হাইড্রলিক প্রেস বা ব্রামাহ্ (Bramah) প্রেস

হাইড্রলিক প্রেস নামক যন্ত্রটি প্যাসকালের সূত্রের উপর ভিত্তি করিয়া নির্মিত হইয়াছে। উদ্ভাবকের নামানুসারে ইহাকে ব্রামাহ্ প্রেসও বলা হয়।

বর্ণনা ও কার্য: এই যন্ত্রে AB এবং CD সিলিণ্ডার দুইটি নলের সাহায্যে সংযুক্ত আছে। P_1 ও P_2 যথাক্রমে সরু ও মোটা পিস্টন।

৪৪নং চিত্র: হাইড্রলিক প্রেস

H হাতলটি উপরে তুলিলে V_1 ভালভ্ (valve) খুলিয়া R জলাধার হইতে সিলিণ্ডারে জল উঠে, কিন্তু V_2 ভালভ্ বন্ধ থাকে। এখন হাতল দ্বারা

নীচের দিকে চাপ দিলে. V_1 ভালভ্ বন্ধ হয় এবং V_2 ভালভ্ খুলিয়া AB ও CD-কে সংযুক্ত করে। P_1-এর উপর চাপ পড়ায় সেই চাপ জলের দ্বারা সঞ্চালিত হইয়া P_2 পিস্টনের নীচে প্রযুক্ত হয়। প্যাসকালের সূত্রানুসারে চাপের পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকে। কিন্তু P_2 পিস্টনের ক্ষেত্রফল বেশী হওয়ায় উহার উপর মোট বল বা ঘাতের পরিমাণ P_1-এর উপর প্রযুক্ত বলের তুলনায় অনেক বেশী। উদাহরণস্বরূপ যদি P_2 পিস্টনের ক্ষেত্রফল P_1 পিস্টনের ক্ষেত্রফলের 20 গুণ হয়, তাহা হইলে বলও 20 গুণ বৃদ্ধি পায়। P_2 পিস্টনের সহিত GK লোহার পাটাতনটি সংযুক্ত আছে। ইহার উপর কোনও নরম জিনিস (যেমন তুলার গাঁট) রাখিলে উহা পাটাতন ও উপরের কাঠামোর মধ্যে প্রবল চাপে পিষ্ট হয়।

যান্ত্রিক সুবিধা ঃ যদি P_1 ও P_2 পিস্টনের ক্ষেত্রফল যথাক্রমে a ও b এবং সঞ্চালিত চাপ P হয়; তাহা হইলে, যান্ত্রিক সুবিধা $= \frac{\text{বর্ধিত বল}}{\text{প্রযুক্ত বল}}$

$$= \frac{F_2}{F_1} = \frac{Pb}{Pa} = \frac{b}{a}$$

(এখানে হাতলের [H] যান্ত্রিক সুবিধা ধরা হয় নাই।)

ব্যবহার ঃ কাপড়, তুলার গাঁট প্রভৃতি চাপ দিয়া আয়তনে ছোট করা, চামড়া চাপ দিয়া শক্ত করা ইত্যাদি কার্যে হাইড্রলিক প্রেস ব্যবহৃত হয়।

হাইড্রলিক গ্যারাজ লিফ্‌ট
[Hydraulic Garage Lift]

ইহা মোটর গাড়ির গ্যারাজে ব্যবহৃত গাড়ি তুলিবার একটি যন্ত্র। ইহার গঠন ও কার্যপ্রণালী ঠিক হাইড্রলিক প্রেসেরই মতো। ইহাতে GK পাটাতনের উপর কোনও নরম জিনিসকে চাপ দেওয়ার পরিবর্তে খুব বড় আকারের ঐ পাটাতনের উপর রাখিয়া বড় বড় গাড়িকে উপরে তোলা হয়। ছোট পিস্টনের H হাতলে একজন সাধারণ শক্তিসম্পন্ন মানুষ বল প্রয়োগ করিয়া দুই-তিন টন ওজনের গাড়িকেও উপরে তুলিতে পারে।

সারাংশ

বল (Force)**ঃ** বস্তুর গতি বা স্থিতির পরিবর্তন করিতে হইলে বলের প্রয়োজন হয়।

চাপ (Pressure)**ঃ** প্রতি বর্গ একক তলের উপর যে বল প্রযুক্ত হয় তাহাকে চাপ বলে।

ঘাত (Thrust)**ঃ** কোনও তলের উপর প্রযুক্ত মোট বলকে ঘাত বলা হয়।

তরলের চাপ ঃ তরল পদার্থ যে পাত্রে থাকে তাহার গাত্রের সহিত লম্বভাবে চাপ প্রয়োগ করে। এই চাপ ঊর্ধ্ব, নিম্ন, পার্শ্ব ইত্যাদি সকল দিকেই প্রযুক্ত হয়। তরলের অভ্যন্তরে যে কোনও বিন্দুতে সকল দিকের

চাপ সমান এবং তরলের গভীরতা ও ঘনত্বের সহিত সমানুপাতী। তরলের চাপ পাত্রের আকারের উপর নির্ভর করে না। কতকগুলি পাত্র একসঙ্গে সংযুক্ত থাকিলে ইহাদের কোনও একটিতে তরল ঢালিলে উহা সকল পাত্রে ছড়াইয়া যায় এবং সকল পাত্রেই এক অনুভূমিক তল পর্যন্ত উঠে।

H উচ্চতা ও D ঘনত্ববিশিষ্ট কোনও তরলস্তম্ভের চাপ

=প্রতি এককতলে HD ভরের ওজন, বা HDg / এককতল।

প্যাসকালের সূত্র (Pascal's Law): কোনও পাত্রে বদ্ধ তরলের কোনও অংশে চাপ প্রয়োগ করিলে সেই চাপ তরলের সর্বত্র সঞ্চালিত হয় এবং প্রযুক্ত চাপের সমান চাপ সর্বত্র পাত্রের তরল সংলগ্ন দেওয়ালের সহিত লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

প্রশ্নাবলী

1. *Describe experiments to verify each of the following characteristics of liquid pressure :*

   (i) *pressure of a liquid increases with depth.*

   (ii) *pressure of a liquid increases with density.*

   (iii) *in a given depth, the pressure of a liquid is the same in every direction.*

2. *Explain the statement —'A liquid finds its own level.' How is water supplied in a town ?*

3. *Describe an experiment to show that the pressure under a liquid depends not upon the shape of the vessel or the quantity of liquid, but only upon the depth of the liquid.*

4. *What do you mean by the pressure at a point in a liquid ? Obtain the relation $P=hdg$, where P=pressure at a depth h of a liquid of density d units.*

5. *Density of glycerine being 1·27 gm/c.c., what will be the pressure under a glycerine column of height 250 c.m. ?*

6. *Densities of alcohol and concentrated sulphuric acid are 0·792 gm/c.c. and 1·34 gm/c.c. respectively. At what depth will an acid column exert the same pressure as exerted by alcohol at a depth of one metre ?*

7. *If density of mercury is 13·6 gm/c.c. what height of water column will exert the same pressure as 30 inches high mercury column ?*

8. *Density of saturated copper sulphate solution is 1·2 gm/c.c. What will be the pressure at the bottom of a jar 65 c.m. high and full of this solution? What again will be the thrust upon the bottom, the inner cross-section of the jar being 16 sq. c.m.?*

9. *State Pascal's law. Explain the Principle of multiplication of force with a diagram.*

10. *Describe with a diagram the Hydraulic Press and explain how it works. What do you mean by the mechanical advantage? What is the mechanical advantage of a hydraulic press?*

11. *What will be the mechanical advantage of a hydraulic press, the diameters of whose barrels are 3·5 c.m. and 14 c.m. respectively? (Neglect mech. advantage of the lever).*

12. *The two limbs of a U-tube have diameters 7 c.m. and 21 c.m. respectively and are fitted with pistons. What force must be applied upon the narrower piston in order to support a weight of 2 tons upon the wider one?*

॥ উত্তর ॥

5. 311300 ডাইন/বর্গ সে. মি. (প্রায়) 6. 43·04 সে. মি. 7. 34 ফুট, 8. ·94640 ডাইন/বর্গ সে. মি. (প্রায়), 1224320, 11. 16, 12. $\frac{2}{9}$ টনের ওজন।

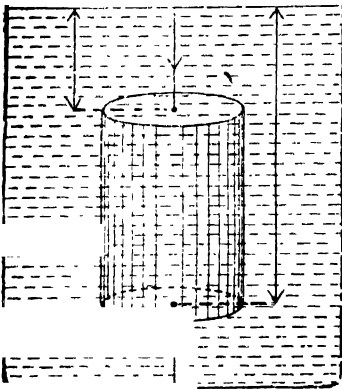
অষ্টম অধ্যায়

প্লবতা ও আর্কিমিদিসের সূত্র

[Buoyancy and Archimedes' Principle]

যে কোনও ভারী বস্তুকে জলে ডুবাইলে উহা হালকা বোধ হয়। যে কোনও একটি ভারী বস্তুকে জলে ডুবাইয়া এবং জল হইতে তুলিয়া ধরিয়া রাখিলে এই কথার সত্যতা অনুভূত হইবে।

৪৫নং চিত্র : পাতলা পাতের উপর নিম্ন ও উর্ধ্বঘাত

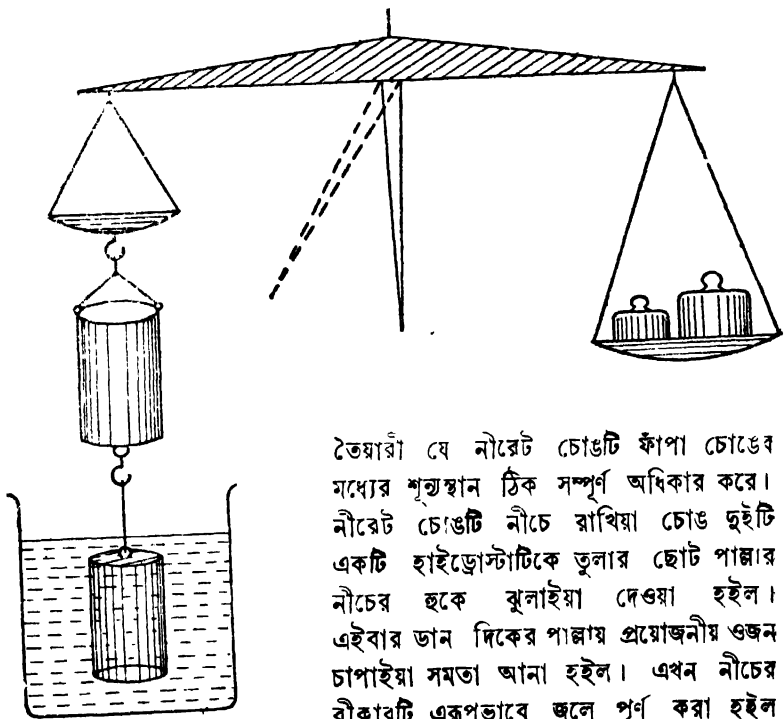
আমরা পূর্বেই দেখিয়াছি, তরল পদার্থের মধ্যে কোনও নির্দিষ্ট গভীরতায় নিম্নচাপ ও ঊর্ধ্বচাপ সমান। এখন মনে করা যাক্ নির্দিষ্ট গভীরতায় কোনও তরল পদার্থের মধ্যে একটি খুব পাতলা পাতকে ধরিয়া রাখা হইয়াছে। যদি ঐ গভীরতায় তরল পদার্থের চাপ P হয় এবং পাতটির ক্ষেত্রফল a বর্গ একক হয়, তাহা হইলে পাতের উপর মোট বল বা ঘাতের পরিমাণ $= P \times a$ একক। এই একই পরিমাণ বল পাতটির নিম্ন ও ঊর্ধ্বদিক হইতে প্রযুক্ত হইতেছে।

৪৬নং চিত্র : নিমজ্জিত বস্তুর উপর প্লবতা

এখন মনে করা যাক্ জলের মধ্যে একটি সিলিণ্ডারাকৃতি শোলার ছিপি ডুবাইয়া ধরা হইল। ছিপিটি ছাড়িয়া দিলেই উহা বেগে উঠিয়া আসিবে। সুতরাং দেখা যাইতেছে ছিপিটি জলে ডুবাইলে উহার উপর একটি ঊর্ধ্বচাপ ক্রিয়া করে। ছিপিটির উপরের তল অপেক্ষা নিম্নতলের গভীরতা বেশী। সুতরাং উপরের তলের নিম্নচাপ অপেক্ষা নিম্নতলের ঊর্ধ্বচাপের পরিমাণ বেশী। তাহারই ফলে মোটের উপর ছিপিটির তলদেশ হইতে ঊর্ধ্বঘাত (Upward Thrust) ক্রিয়া করিতেছে। এই ঊর্ধ্বঘাতকে প্লবতা (buoyancy) বলে।

সংজ্ঞা : তরল পদার্থে নিমজ্জিত কোনও বস্তুর উপর তরল পদার্থ যে ঊর্ধ্বঘাত প্রয়োগ করে তাহাকে উহার প্লবতা (Buoyancy) বলে।

আর্কিমিদিসের সূত্র (Principle of Archimedes) **:** নিমজ্জিত বস্তুর উপর তরল পদার্থ যে ঊর্দ্ধঘাত প্রয়োগ করে আর্কিমিদিসের সূত্র হইতে তাহার পরিমাণ পাওয়া যায়। সূত্রটি নিম্নে দেওয়া হইল :

কোনও বস্তু স্থির তরল পদার্থে সম্পূর্ণ বা আংশিক নিমজ্জিত করিলে, ঐ বস্তুর ওজন হ্রাস পায় বলিয়া মনে হয়। হ্রাসপ্রাপ্ত ওজনের পরিমাণ নিমজ্জিত বস্তু দ্বারা অপসারিত তরলের ওজনের সমান।

আর্কিমিদিসের সূত্রের প্রমাণ : (নীরেট ও ফাঁপা চোঙের সাহায্যে) **:** একটি নীরেট চোঙ ও একটি ফাঁপা চোঙ লওয়া হইল। ইহারা এমন ভাবে

৪৭নং চিত্র : আর্কিমিদিস সূত্রের দ্বিতীয় পরীক্ষা

তৈয়ারী যে নীরেট চোঙটি ফাঁপা চোঙের মধ্যের শূন্যস্থান ঠিক সম্পূর্ণ অধিকার করে। নীরেট চোঙটি নীচে রাখিয়া চোঙ দুইটি একটি হাইড্রোস্টাটিকে তুলার ছোট পাল্লার নীচের হুকে ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। এইবার ডান দিকের পাল্লায় প্রয়োজনীয় ওজন চাপাইয়া সমতা আনা হইল। এখন নীচের বীকারটি এরূপভাবে জলে পূর্ণ করা হইল যাহাতে নীরেট চোঙটি বীকারের দেওয়াল স্পর্শ না করিয়া জলে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত হয়। ইহাতে পাল্লার সমতা নষ্ট হইল এবং কাঁটা বাম দিকে সরিয়া গেল। সুতরাং নীরেট চোঙ জলে ডুবায় উহার ওজন হ্রাস পাইল। এই বার ফাঁপা চোঙে ধীরে ধীরে জল ঢালা হইল। যেই ফাঁপা চোঙ জলে পূর্ণ হইল, অমনি আবার পাল্লার সমতা ফিরিয়া আসিল। সুতরাং দেখা গেল যে ওজন হ্রাস পাইয়াছিল তাহা ফাঁপা চোঙে যতটা জল ধরে ততটা জলের ওজনের সমান। কিন্তু ফাঁপা চোঙে যতটা জল ধরে তাহা নীরেট চোঙের দ্বারা অপসারিত জলের সমান। সুতরাং

প্রমাণিত হইল নীরেট চোঙ যতটা ওজনের জল অপসারিত করে, জলে নিমজ্জিত হইলে উহার ততটা ওজন হ্রাস পায়। ইহাই আর্কিমিদিসের সূত্র।

বস্তুর জলে ডুবিবার ও ভাসিবার কারণ: এক টুকরা লোহা বা পাথর জলে ফেলিলে তলাইয়া যায়, কিন্তু এক টুকরা কাঠ জলে আংশিক নিমজ্জিত হইয়া ভাসে। ইহার কারণ লোহার টুকরাটি সম্পূর্ণ নিমজ্জিত হইয়াও যে পরিমাণ জল অপসারিত করে তদপেক্ষা লোহার টুকরার ওজন বেশী। সেই জন্য ইহা তলাইয়া যায়। কিন্তু কাঠের টুকরাটি জলে আংশিক নিমজ্জিত হইয়াই যে পরিমাণ জল অপসারিত করে, তাহার ওজন কাঠের টুকরার ওজনের সমান। সুতরাং কাঠের টুকরা জলে ভাসিয়া থাকে।

জাহাজ জলে ভাসে কেন? একতাল লোহা ডুবিয়া যায়, কিন্তু উহাকে পিটাইয়া কড়াই প্রস্তুত করিলে জলে ভাসে। কারণ কড়াই অবতল আকৃতির হওয়ায় লোহার তালের তুলনায় আয়তনে বড়, সেইজন্য অনেক বেশী জল অপসারিত করিতে পারে। সুতরাং নিজের ওজনের সমান জল অপসারিত করা কড়াইয়ের পক্ষে সম্ভব হয় এবং ইহা ভাসিয়া থাকে। জাহাজও একই নিয়মে ভাসে। জাহাজের খোল ধাতু নির্মিত হইতে পারে, কিন্তু খোলের ভিতর ফাঁপা। সেইজন্য ভাসিয়া থাকিতে হইলে যতখানি জল অপসারিত করা প্রয়োজন জাহাজ তাহা করিতে পারে। সেইজন্য জাহাজ ভাসিয়া থাকে।

সাঁতার দেওয়া: আমরা জলে দেহকে নিমজ্জিত করিলে আর্কিমিদিসের সূত্র অনুসারে দেহের ওজন কমিয়া যায়। মাথা পর্যন্ত সমস্ত দেহ জলে ডুবাইয়া রাখিতে পারিলে আমরা যতটা জল অপসারিত করি তাহার ওজন আমাদের ওজনের কিছু বেশী। সুতরাং মাথা ও দেহ নিমজ্জিত করিয়া জলে ভাসিয়া থাকা মানুষের পক্ষে সম্ভব। কিন্তু মাথা উপরে না রাখিলে শ্বাস রোধ হয়। সেইজন্য অঙ্গপ্রত্যঙ্গ চালনা করিয়া মাথাকে উপরে তুলিয়া রাখিতে হয়। ইহারই নাম সাঁতার দেওয়া। চতুষ্পদ জন্তুদের মাথা অপেক্ষাকৃত ছোট হওয়ায় ইহারা সহজে দেহকে ডুবাইয়া মাথা জলের উপরে রাখিতে পারে। তাই ইহাদের সাঁতার শিখিতে হয় না।

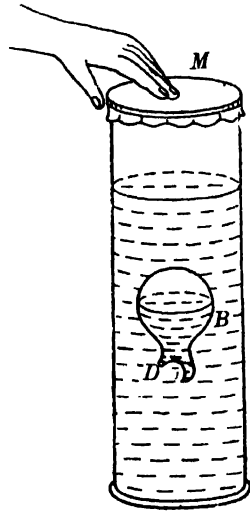
মালবাহী নৌকা জলে ভাসায় সময় লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে নৌকাটি মালশূন্য অবস্থায় অনেকখানি উপরে উঠিয়া ভাসিয়া থাকে। যত বেশী মাল বোঝাই হয়, নৌকাও তত জলের মধ্যে নিমজ্জিত হয়। নৌকা ও তাহার মধ্যস্থ মাল সমস্ত মিলিয়া যত ওজন, ঠিক তত ওজনের জল অপসারিত হইলেই নৌকা জলে ভাসিয়া থাকে। এখন নৌকায় মাল যত বোঝাই হইবে, ভাসিয়া থাকিবার জন্য তত জল অপসারণের প্রয়োজন হইবে, সুতরাং নৌকাও তত বেশী পরিমাণ জলে নিমজ্জিত হইবে।

কার্টেসীয় ডাইভার

[Cartesian diver]

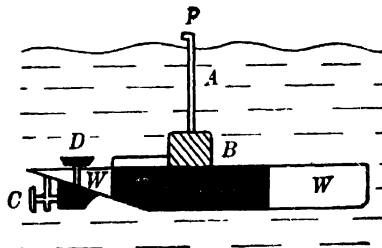
সিলিণ্ডার আকৃতির একটি কাঁচের পাত্রের প্রায় তিন-চতুর্থাংশ জলে পূর্ণ করা হইল। ইহার মধ্যে বিশেষ ধরনে নির্মিত একটি ফাঁপা পুতুল ভাসমান অবস্থায়

রাখা হইল। চিত্রের পুতুলটির আকৃতি প্রায় গোল। ইহার নীচের দিকটি সরু নলের মত। নলের পাশে একটি ছিদ্র আছে। পুতুলটির ভিতরের প্রায় অর্ধেক অংশ জলে পূর্ণ এবং জলের উপরের অংশে বাতাস আছে। ভাসমান অবস্থায় পুতুলটিকে রাখার পর সিলিণ্ডারের মুখ রবারের পাত দিয়া আঁটিয়া বাঁধিয়া দেওয়া হইল।

এইবার রবারের পাতের উপর চাপ দিলে সিলিণ্ডারের জলের উপরের বায়ুর উপর চাপ পড়িবে এবং সেই চাপ জলের সর্বত্র সঞ্চারিত হইবে। ইহার ফলে পুতুলের মধ্যস্থিত জলের এবং বায়ুর উপরও সেই চাপ ক্রিয়া করিবে। চাপের ক্রিয়ার ফলে পুতুলের মধ্যস্থিত বায়ুর সংকোচন হইবে এবং কিছু পরিমাণ জল পুতুলের মধ্যে প্রবেশ করিবে। জল প্রবেশ করার জন্য পুতুলটি ভারী হইবে এবং ইহা নীচের দিকে নামিতে থাকিবে। রবারের পাতের উপর হইতে চাপ সরাইয়া লইলে প্রবিষ্ট জল বাহির হইয়া যাইবে এবং পুতুলটি আবার উপরে ভাসিয়া উঠিবে।

৪৮নং চিত্র : কার্টেসীয় ডাইভার

রবারের উপর পর্যায়ক্রমে চাপ প্রয়োগ ও চাপের অপসারণ করিতে থাকিলে পুতুলটিকে সিলিণ্ডারের জলের মধ্যে উঠানামা করিতে দেখা যাইবে। এই পরীক্ষাটিকে কার্টিসীয় ডাইভারের পরীক্ষা এবং এই সরঞ্জামটিকে কার্টিসীয় ডাইভার বলে।

সাবমেরিন
[Submarine]

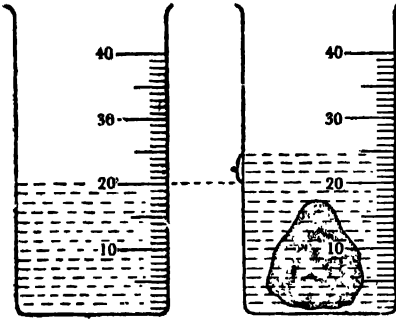
সাবমেরিনের বা ডুবোজাহাজের জলের মধ্যে উঠানামা করা কার্টিসীয় ডাইভারের জলের মধ্যে উঠানামা করার মূলনীতির উপরই প্রতিষ্ঠিত।

৪৯নং চিত্র : সাবমেরিন

সাবমেরিনের দুইপাশে জলভর্তি বড় বড় ট্যাঙ্ক থাকে এইগুলিকে ব্যালাস্ট ট্যাঙ্ক (Ballast tank) বলে। পাম্পের সাহায্যে কমপ্রেসিত বায়ু ট্যাঙ্কের মধ্যে প্রবেশ করাইয়া জল বাহির করিয়া দিলে সাবমেরিন হালকা হইয়া উপরে উঠে।

ভাল্‌ভের সাহায্যে সমুদ্রের জল ব্যালাস্ট ট্যাঙ্কে ভর্তি করিলে সাবমেরিন ভারী হয় এবং জলের নীচে নামিতে থাকে। ব্যালাস্ট ট্যাঙ্কে পরিমিত জল থাকিলে সাবমেরিণ একটি নির্দিষ্ট গভীরতায় চলে।

নির্দিষ্ট আকারহীন কঠিন বস্তুর আয়তন নির্ণয়

[আকিমিদিসের সূত্র অবলম্বনে]

প্রথম প্রণালীঃ একটি মেজারিং সিলিণ্ডারে কিছু পরিমাণ জল লওয়া হইল এবং জলের আয়তন লিখিয়া রাখা হইল। এখন মনে করা যাক, এক টুকরা পাথরের আয়তন নির্ণয় করিতে হইবে। পাথরের টুকরাটি সাবধানে সিলিণ্ডারের জলের মধ্যে ফেলিয়া দেওয়া হইল। উহা সিলিণ্ডারের নীচে চলিয়া যাইবে এবং যতটা স্থান দখল করিবে ঠিক তত আয়তনের জলকে উপরের দিকে স্থানান্তরিত করিবে। অতএব সিলিণ্ডারের জলের উপরিতল উপরে উঠিয়া যাইবে। এখন এই উপরিতলের অবস্থান স্কেল হইতে পড়িয়া স্কেলের পাঠ লিখিয়া রাখা হইল। এই দুইটি পাঠের ব্যবধানই পাথরের টুকরাটির আয়তন হইবে।

৫০নং চিত্র : জলে ডুবাইয়া আয়তন মাপা

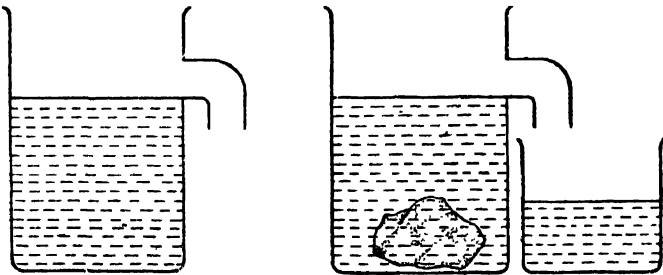
উদাহরণঃ মনে করা যাক, পাথরের টুকরা জলে ফেলিবার পূর্বে স্কেলের

পাঠ $=11$ সি. সি.

এবং ফেলিবার পরের পাঠ $=20$ সি. সি.

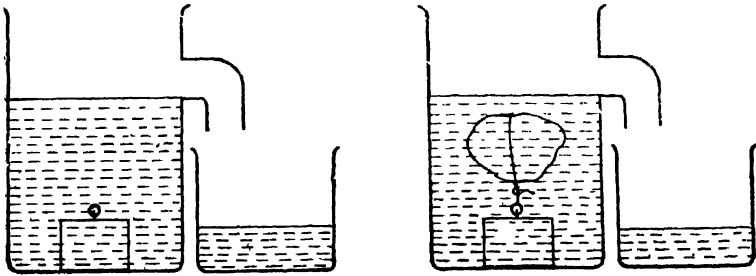
$\therefore$ পাথরের আয়তন $=20$ সি. সি. -11 সি. সি.

$=9$ সি. সি.

দ্বিতীয় প্রণালীঃ যদি পাথরের টুকরাটি বড় হয় এবং সাধারণ মেজারিং সিলিণ্ডারের মধ্যে প্রবেশ না করে, তাহা হইলে এই প্রণালী অবলম্বন করা

৫১নং চিত্র : জলে ডুবাইয়া আয়তন মাপা

যায়। ইহাতে ৫১নং চিত্রের ন্যায় একটি বড় সিলিণ্ডার লইতে হইবে। ইহার

এক পাশে একটি সরু নল সংলগ্ন আছে। প্রথমে পাত্রটিতে এরূপভাবে জল ঢালা হইল যাহাতে জল সরু নলের সংযোগস্থল পর্যন্ত উঠিয়া উপচাইয়া পড়িতে থাকে। এই অবস্থায় জল ঢালা বন্ধ করিয়া সরু নলটির ঠিক নীচে একটি শূন্য বীকার রাখা হইল। এইবার পাথরটি সাবধানে বড় পাত্রের জলে ডুবাইয়া দিলে ইহা দ্বারা অপসারিত সম্পূর্ণ জল উপচাইয়া বীকারে সঞ্চিত হইবে। এখন বীকারের জল লইয়া মেজারিং সিলিণ্ডারে ঢালিয়া মাপিলেই পাথরের আয়তন পাওয়া যাইবে।

বস্তুটি জলে না ডুবিলে: বস্তুটি কাঠ, মোম প্রভৃতি যে সমস্ত পদার্থ জল অপেক্ষা লঘু, তাহাদের দ্বারা নির্মিত হইলে পূর্বে বর্ণিত প্রণালী অবলম্বন করা যায় না। এইরূপ ক্ষেত্রে বস্তুটিকে জলে ডুবাইবার জন্য একটি ভারী বস্তুকে

৫২নং চিত্র: জলে ডুবাইয়া আয়তন মাপা

নিমজ্জক (Sinker) হিসাবে করা যাইতে পারে। প্রথমে দ্বিতীয় প্রণালী অনুসারে নিমজ্জকটির আয়তন বাহির করা হইল তারপর নিমজ্জকের সহিত লঘু বস্তুটি সরু সুতা দ্বারা বাঁধিয়া একসঙ্গে জলে ডুবাইয়া দেওয়া হইল। এখন অপসারিত জলের আয়তন লওয়া হইল। ইহা নিশ্চয়ই নিমজ্জক ও পরিমাপ্য বস্তুর আয়তনের যোগফল। অতএব ইহা হইতে প্রথমে নির্ণীত নিমজ্জকের আয়তন বিয়োগ করিলেই পরিমাপ্য বস্তুর আয়তন পাওয়া যাইবে।

[**বস্তুটি জলে দ্রবণীয় হইলে:** মিছরি, লবণের ডেলা, তুঁতে প্রভৃতি যে সকল পদার্থ জলে দ্রবণীয় তাহাদের আয়তন নির্ণয় করিতে হইলে জলের পরিবর্তে অন্য কোনও তরল পদার্থ লইতে হইবে যাহাতে ঐ পদার্থ দ্রবণীয় নহে, যেমন কেরোসিন তেল। ইহা ব্যতীত প্রণালীটি একই রকম।]

তৃতীয় প্রণালী: পাথরের টুকরাটিকে প্রথমে বাতাসে ওজন করা হইল। তাহার পর পাথরটিকে একটি সুতায় বাঁধিয়া তুলার পাল্লার নীচে আটকাইবার পর এক বীকার (beaker) জলের মধ্যে ডুবাইয়া আবার ওজন করা হইল। জলে নিমজ্জিত থাকার জন্য পাথরটির ওজন এখন কম হইবে। যদি বাতাসে পাথরটির ওজন w_1 গ্রাম হয় এবং জলের নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন w_2 গ্রাম হয় তাহা হইলে আর্কিমিদিসের সূত্র অনুসারে—

পাথরের ওজন হ্রাসের পরিমাণ = পাথরটির সম-আয়তন জলের ওজন

$$= w_1 - w_2 \text{ গ্রাম}$$

যেহেতু 1 গ্রাম জলের আয়তন 1 সি. সি. সুতরাং পাথরের আয়তন $(w_1 - w_2)$ সি. সি.

ঘনত্ব নির্ণয়

কোনও বস্তুর ঘনত্ব $= \frac{\text{উহার ভর}}{\text{উহার আয়তন}}$; সুতরাং কোনও বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয় করিতে হইলে উহার ভর এবং আয়তন মাপিতে হইবে। ভর মাপিবার জন্য তুলাযন্ত্র ব্যবহার করিতে হইবে। আয়তন মাপার প্রণালী পূর্বে বর্ণিত হইয়াছে।

সারাংশ

প্লবতা (Buoyancy) : কোনও বস্তু তরলে নিমজ্জিত হইলে উহার উপর তরলের যে মোট ঊর্ধ্বচাপ (ঊর্ধ্বঘাত) প্রযুক্ত হয় তাহাকে প্লবতা বলে।

আর্কিমিদিসের সূত্র (Principle of Archimedes) : কোনও বস্তু তরল পদার্থে নিমজ্জিত হইলে ঐ বস্তুর ওজন হইতে উহা দ্বারা অপসারিত তরল পদার্থের ওজন হ্রাস পাইয়াছে বলিয়া মনে হয়।

কোনও বস্তু তরলে নিমজ্জিত করিলে উহার উপর প্রযুক্ত প্লবতা বস্তুর ওজনের সমান হইলে উহা ভাসিবে।

অনুশীলনী

1. *What is buoyancy ? State the Principle of Archimedes and describe an experiment to verify it.*

2. *Why does a body float or sink in water ? An iron pan floats but a small lump of iron sinks. Explain why. Quadrupeds need not learn swimming but men need—why ?*

3. *Describe a Cartesian Diver and explain its principle. Show how this principle has been applied in a Submarine.*

আপেক্ষিক গুরুত্ব
[Specific Gravity]

আমরা জানি, কাঠ জলে ভাসে, কিন্তু লোহা জলে ডুবে। সুতরাং আমরা সচরাচর বলি কাঠ হালকা, লোহা ভারী। কিন্তু এক টুকরা লোহা পারদের মধ্যে ফেলিয়া দিলে দেখা যাইবে লোহা পারদে ভাসিতেছে। সুতরাং এখানে লোহাকে হালকা বা লঘু বলিতে হইতেছে। অতএব কোনও পদার্থকে নিরপেক্ষভাবে লঘু বা গুরু (ভারী) বলা অর্থহীন। একটি পদার্থ অন্য একটি পদার্থ হইতে কতগুণ ভারী বা হালকা তাহাই বলা উচিত। অর্থাৎ একটি নির্দিষ্ট পদার্থকে **প্রামাণিক পদার্থ** (Standard substance) ধরিয়া তাহার তুলনায় অন্যান্য পদার্থের গুরুত্ব বলাই সুবিধাজনক। ইহারই নাম আপেক্ষিক গুরুত্ব।

সংজ্ঞা: সমান আয়তনের একটি প্রামাণিক পদার্থের তুলনায় কোনও পদার্থ যতগুণ ভারী বা হালকা তাহাকে উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব বলে।

কঠিন ও তরল পদার্থের ক্ষেত্রে জলকে* প্রামাণিক পদার্থ ধরা হয়। গ্যাসীয় পদার্থের ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট চাপ ও উষ্ণতায় হাইড্রোজেন গ্যাসকে প্রামাণিক পদার্থ মনে করা হয়। সুতরাং আপেক্ষিক গুরুত্বকে নিম্নলিখিত অনুপাত দ্বারা প্রকাশ করা যায়:

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{কোনও নির্দিষ্ট আয়তনের আলোচ্য পদার্থের ওজন}}{\text{একই আয়তনের প্রামাণিক পদার্থের ওজন}}$$

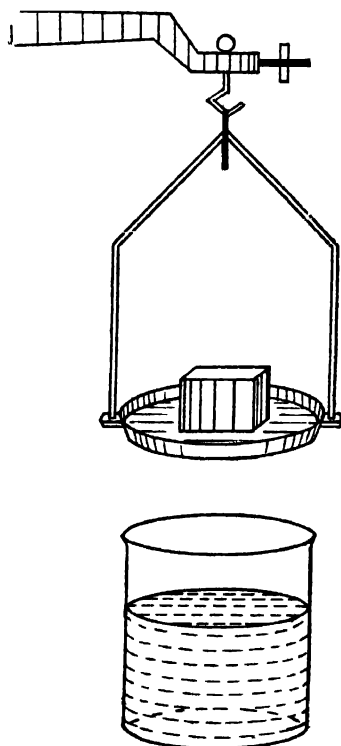
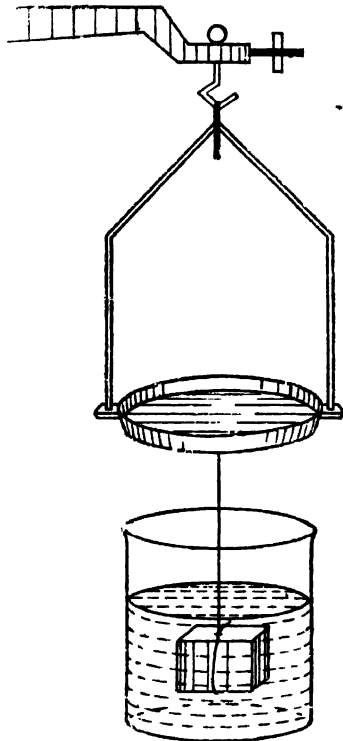
আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়

কোনও বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইলে ঐ বস্তুর ওজন এবং উহার সম-আয়তনের জলের ওজন বাহির করা প্রয়োজন। এই জন্য বিভিন্ন প্রণালী অবলম্বন করা যাইতে পারে। উহাদের কয়েকটি প্রণালী এখানে আলোচিত হইবে।

কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়

বস্তুটি জলে অদ্রাব্য এবং জল অপেক্ষা ভারী হইলে: একটি ঔদস্থিতিক তুলায় বস্তুটি ওজন করা হইল। তারপর হালকা সরু সুতার সাহায্যে উহাকে ছোট পাল্লার নীচে ঝুলাইয়া জলে ডুবাইয়া দেওয়া হইল। এই অবস্থায় আবার ওজন লওয়া হইল। মনে করা যাক্ ওজন হইল বায়ুতে w_1 গ্রাম এবং জলমগ্ন অবস্থায় w_2 গ্রাম।

* প্রকৃতপক্ষে 4° সে. উষ্ণতায় বিশুদ্ধ জল।

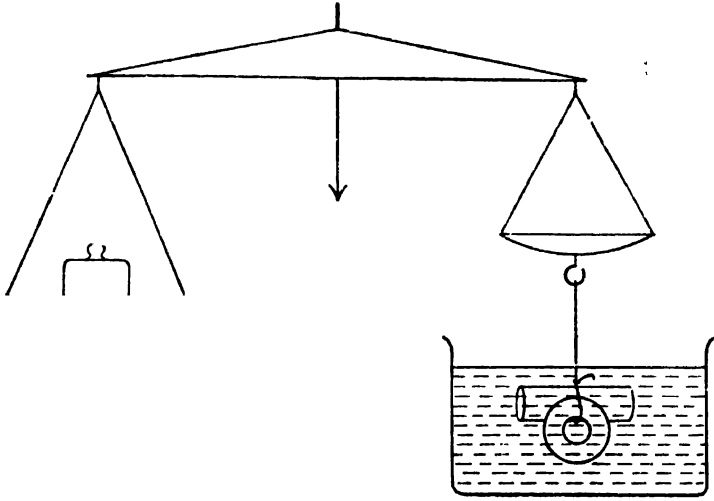
$\therefore$ অপসারিত জলের ওজন $=(w_1 - w_2)$ গ্রাম। এবং ইহাই বস্তুটির সম-আয়তন জলের ওজন।

৫৩ক নং চিত্র : ৫৩খ নং চিত্র :
জল অপেক্ষা ভারী বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়

$$\text{সুতরাং, আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{w_1}{w_1 - w_2}$$

দ্রষ্টব্য : $(w_1 - w_2)$ গ্রাম জলের আয়তন $(w_1 - w_2)$ সি. সি.। সুতরাং এই পরীক্ষা হইতে বস্তুটির সি. জি. এককে **আয়তনও** পাওয়া যাইতেছে।

$$\text{অতএব, বস্তুটির } \textbf{ঘনত্ব} = \frac{\text{ইহার ভর}}{\text{ইহার আয়তন}} = \frac{w_1 \text{ গ্রাম}}{(w_1 - w_2) \text{ সি. সি.}}$$

$$= \frac{w_1}{w_1 - w_2} \text{ গ্রাম/সি. সি.}$$

বস্তুটি জলে অদ্রাব্য কিন্তু জল অপেক্ষা হালকা হইলে : মনে করা যাক্ এক টুকরা মোম লওয়া হইয়াছে। প্রথমত, বায়ুতে বস্তুটির ওজন লইতে হইবে। এখন বস্তুটিকে জলে ডুবাইবার জন্য এক টুকরা লোহা বা পাথরের ন্যায় একটি নিমজ্জক লইতে হইবে। বস্তুটি ঔদস্থিতিক তুলার ছোট পাল্লায়

এবং নিমজ্জকটি জলের ভিতরে সুতা দ্বারা ঝুলাইয়া উহাদের ওজন লওয়া হইল। তারপর বস্তু ও নিমজ্জক এক সঙ্গে সুতায় বাঁধিয়া আবার জলে ডুবাইয়া ওজন করা হইল।

৫৪নং চিত্র : জল অপেক্ষা হালকা বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়

মনে করা যাক্, কেবল বস্তুটির বায়ুতে ওজন $= w_1$ গ্রাম

বস্তুটি বায়ুতে ও নিমজ্জক জলে লইয়া ওজন $= w_2$ গ্রাম

বস্তু ও নিমজ্জক উভয়কে জলে লইয়া ওজন $= w_3$ গ্রাম।

$\therefore$ বস্তুর সম-আয়তন জলের ওজন = বস্তু জলে নিমজ্জিত হওয়ায় ওজন হ্রাস $= (w_2 - w_3)$ গ্রাম।

সুতরাং, বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{w_1}{w_2 - w_3}$

বস্তুটি জলে দ্রাব্য হইলে : মিছরি, লবণ বা তুঁতের ডেলা লওয়া হইল। এক্ষেত্রে বস্তুটি জলে ডুবাইলে গলিয়া যাইবে। সুতরাং এমন কোনও তরল পদার্থ লওয়া হইল যাহাতে ইহা অদ্রাব্য, (যেমন কেরোসিন তেল)। মনে করা যাক্ বস্তুটির বায়ুতে ওজন এবং কেরোসিন তেলে ডুবানো অবস্থায় ওজন যথাক্রমে w_1 গ্রাম ও w_2 গ্রাম হইল।

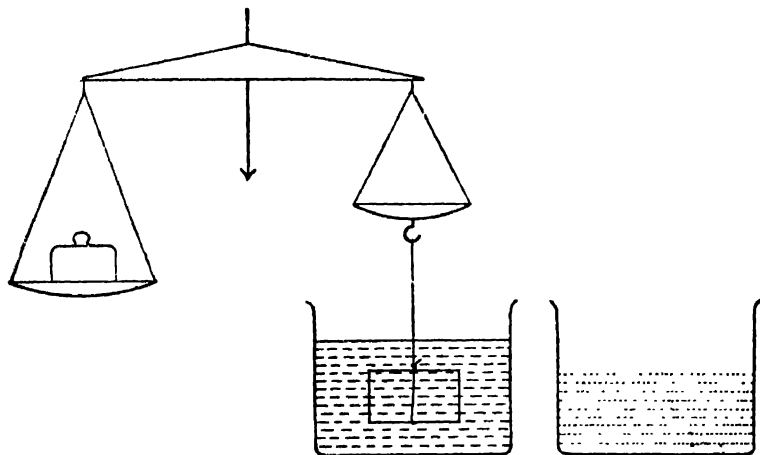
$$\text{এখন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}$$

$$= \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{সম-আয়তন তেলের ওজন}} \times \frac{\text{সম-আয়তন তেলের ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}$$

$$= \frac{w_1}{w_1 - w_2} \times \text{তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব}$$

সুতরাং তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব জানা থাকিলে এই সূত্র হইতে বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়। তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব না দেওয়া থাকিলে নিম্নে বর্ণিত উপায়ে বাহির করা যাইতে পারে।

তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়

ঔদস্থিতিক তুলার সাহায্যে: দুইটি বীকারের একটিতে জল ও অপরটিতে তরল পদার্থটি লওয়া হইল। এখন এমন একটি নিমজ্জক লওয়া হইল

৫৫নং চিত্র : তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়

যাহা জল অথবা ঐ তরল উহাদের কোনটিতেই গলিবে না। কাঁচের নিমজ্জক লওয়াই ভাল, কারণ ইহার সহিত সাধারণ কোনও তরলের রাসায়নিক ক্রিয়া হয় না। নিমজ্জকটিকে প্রথমে বায়ুতে ওজন করা হইল। তারপর ঔদস্থিতিক তুলার সাহায্যে একে একে তরল পদার্থে ও জলে ডুবাইয়া ওজন করা হইল। মনে করা যাক্, ওজনগুলি হইল যথাক্রমে w_1, w_2 এবং w_3 গ্রাম।

এখন, নিমজ্জক দ্বারা অপসারিত (অতএব উহার সম-আয়তন)

তরল পদার্থের ওজন $= (w_1 - w_2)$ গ্রাম

এবং নিমজ্জক দ্বারা অপসারিত (অতএব উহার সম-আয়তন)

জলের ওজন $= (w_1 - w_3)$ গ্রাম

$\therefore$ তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{w_1 - w_2}{w_1 - w_3}$

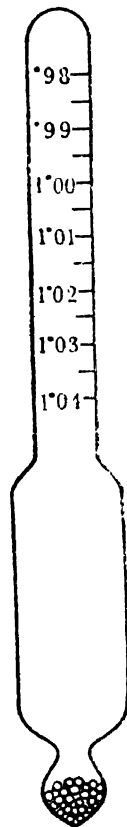
হাইড্রোমিটার যন্ত্রের সাহায্যে: হাইড্রোমিটার দ্বারাও তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়। হাইড্রোমিটার দুই প্রকার হইতে পারে:

(1) সাধারণ হাইড্রোমিটার (Common Hydrometer)

(2) নিকলসন হাইড্রোমিটার (Nicholson Hydrometer)

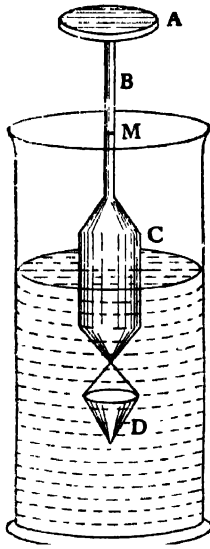
সাধারণ হাইড্রোমিটার

৫৬নং চিত্র : সাধারণ হাইড্রোমিটার

একটি কাঁচের নলের সহিত একটি মোটা বাল্ব সংযুক্ত আছে। উহার নীচে আর একটু সরু অংশের ভিতর কোনও ভারী বস্তু, যেমন কতকগুলি সীসার গোলক, ভরা আছে, যাহাতে সমস্ত যন্ত্রটি কোনও তরল পদার্থে খাড়া অবস্থায় ভাসিতে পারে। ইহাই সাধারণ হাইড্রোমিটার। ইহাকে কোনও তরল পদার্থে ডুবাইলে ইহা নিজের ওজনের সমান ওজনবিশিষ্ট তরল পদার্থ অপসারিত করিয়া ভাসিবে। সুতরাং যে তরল পদার্থে আপেক্ষিক গুরুত্ব যত কম হইবে, হাইড্রোমিটারও সেই তরল পদার্থে তত বেশী পরিমাণে ডুবিবে। হাইড্রোমিটারটি জলে ডুবাইলে সরু নলটি যতটা নিমজ্জিত হয় সেইখানে একটি দাগ দিয়া 1·00 লেখা হয়। কারণ, জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1. তারপর কতকগুলি জানা আপেক্ষিক গুরুত্ববিশিষ্ট তরল পদার্থে ডুবাইয়া সরু নল যে পর্যন্ত ডুবে তাহা দেখিয়া 1·01, 1·02, 1·03 প্রভৃতি দাগগুলি দেওয়া হয়। এইরূপে সরু নলটির গায়ে স্কেল সংযোজন করা হয়। ঐ স্কেলের যে দাগ পর্যন্ত হাইড্রোমিটার ডুবে সেই দাগের পাশে লিখিত অঙ্ক হইতে তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব জানা যায়। মনে করা যাক্, যন্ত্রটি 1·03 দাগ পর্যন্ত কোনও তরলে ডুবিল। ঐ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব হইবে 1·03.

সাধারণ হাইড্রোমিটার দুধ, এসিড প্রভৃতির আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের জন্য ব্যবহার করা হয়।

নিকলসন হাইড্রোমিটার

বর্ণনা : C একটি ধাতুনির্মিত দুই-মুখ বন্ধ ফাঁপা চোঙ ; B উহার সহিত সংলগ্ন একটি সরু ধাতুদণ্ড। B-কে যন্ত্রটির গলা বা গ্রীবা বলা যায়। A একটি চাকতির আকারের পাত্র, উহা B-এর উপরের প্রান্তে সংলগ্ন। D একটি মোচার খোলার আকৃতি ছোট চোঙবিশেষ এবং ইহার চাকতির আকারের ঢাকনা ইহার সহিত ঝালাই করা। D-এর মধ্যে সীসার গোলক বা ঐরূপ কোনও ভারী বস্তু রাখা হয় যাহাতে যন্ত্রটি কোনও তরলে ডুবাইলে খাড়াভাবে ভাসিয়া থাকে। যন্ত্রটি এইরূপ গঠনের হওয়া প্রয়োজন যে, উহা জল অথবা কোনও সাধারণ তরলে ডুবাইলে B সম্পূর্ণ এবং C-এর কতকাংশ তরলের উপরে রাখিয়া ভাসিয়া থাকিতে পারে (৫৭নং চিত্র)।

ব্যবহারের মূলনীতি ঃ যন্ত্রটির গ্রীবায় যে কোনও সুবিধাজনক স্থানে M সূতা দিয়া বাঁধা একটি সূচক চিহ্ন। ব্যবহারকালে সর্বদা যন্ত্রটি ঐ সূচক পর্যন্ত ডুবান হয়। যন্ত্রটির উপর কোনও বস্তু রাখিলে যদি যন্ত্রটি সূচক M পর্যন্ত নিমজ্জিত হয়, তাহা হইলে যন্ত্র ও তাহার উপরের বস্তু উভয়ে মিলিয়া যাহা ওজন হইবে, যন্ত্রদ্বারা অপসারিত তরলেরও তাহাই ওজন।

৫৭নং চিত্র ঃ
নিকলসন হাইড্রোমিটার

[i] তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়

প্রয়োজীয় সরঞ্জাম ঃ দুইটি বড় কাচের সিলিণ্ডার, ওজনের বাক্স, হাইড্রোমিটার ইত্যাদি।

কার্যপ্রণালী ঃ কাচের সিলিণ্ডার দুইটির একটিকে প্রদত্ত তরল পদার্থ (যেমন তুঁতের দ্রবণ) এবং অপরটিকে জল দ্বারা প্রায় পূর্ণ করা হয়। হাইড্রোমিটারটি লইয়া উহাকে সাধারণ নিক্তিতে ওজন করা হয়। এখন হাইড্রোমিটারটি তুঁতের দ্রবণপূর্ণ সিলিণ্ডারের মধ্যে নামাইয়া দেওয়া হয়। এইবার উপরের পাত্রে ধীরে ধীরে বিভিন্ন ওজন চাপান হয় যতক্ষণ না যন্ত্রটি ঠিক সূচক চিহ্ন পর্যন্ত নিমজ্জিত হইয়া ভাসিয়া থাকে। এখন হাইড্রোমিটারকে তুলিয়া জলে ধুইয়া জলপূর্ণ সিলিণ্ডারের মধ্যে ডুবান হয় এবং প্রয়োজনীয় ওজন উপরের পাত্রে চাপাইয়া নির্দিষ্ট চিহ্ন পর্যন্ত ডুবান হয়।

মনে করা যাক্ ঃ

হাইড্রোমিটারের ওজন $= W$ গ্রাম ; হাইড্রোমিটারকে চিহ্ন পর্যন্ত তরলে ডুবাইতে উপরের চাকতিতে ওজন $= W_1$; গ্রাম হাইড্রোমিটারকে চিহ্ন পর্যন্ত জলে ডুবাইতে উপরের চাকতিতে ওজন $= W_2$ গ্রাম।

এবং হাইড্রোমিটার সূচক পর্যন্ত ডুবিলে যে তরল অপসারিত হয়, তাহার আয়তন $= V$ সি. সি.

সুতরাং, V সি. সি. তরলের ওজন $= (W + w_1)$ গ্রাম

এবং V সি. সি. জলের ওজন $= (W + w_2)$ ”

$\therefore$ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W + w_1}{W + w_2}$

[ii] কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব

প্রয়োজনীয় সরঞ্জাম ঃ একটি বড় কাচের সিলিণ্ডার, ওজনের বাক্স, ছোট টুকরার আকারে প্রদত্ত কঠিন পদার্থ, ইত্যাদি।

কার্যপ্রণালী ঃ সিলিণ্ডারটি প্রায় জলপূর্ণ করা হয়। হাইড্রোমিটার জলে নামাইয়া উপরের পাত্রে এমন ওজন চাপান হয় যাহাতে উহা সূচক চিহ্ন পর্যন্ত ডোবে। তারপর ওজন সরাইয়া উপরের পাত্রে এক টুকরা কঠিন পদার্থ রাখা হয়। টুকরাটির ওজন এমন হওয়া উচিত যাহাতে উহা উপরের পাত্রে রাখিলে হাইড্রোমিটারের সূচক চিহ্ন জলের উপরে থাকে। টুকরাটি উপরের পাত্রে রাখিয়া আরও ওজন চাপাইয়া যন্ত্রটি সূচক চিহ্ন পর্যন্ত ডোবান হয়। এইবার হাইড্রোমিটারের নীচের পাত্রে পদার্থটি রাখা হয়। উহা জলে ভাসমান বস্তু হইলে সরু সুতার সাহায্যে নীচের পাত্রে বাঁধিয়া লওয়া হয়। এখন আবার উপরের পাত্রে ওজন চাপাইয়া যন্ত্রটি সূচক চিহ্ন পর্যন্ত ডোবান হয়।

মনে করা যাক্ ঃ

কেবল হাইড্রোমিটারকে চিহ্ন পর্যন্ত ডুবাইতে ওজন $= W_1$ গ্রাম, পদার্থ উপরের চাকতিতে রাখিলে প্রয়োজনীয় ওজন $= W_2$ গ্রাম, প্রয়োজনীয় পদার্থ নীচের চাকতিতে রাখিলে প্রয়োজনীয় ওজন $= W_3$ গ্রাম এবং জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন $=(w_1 - w_2)$ গ্রাম তাহা হইলে কঠিন পদার্থের বায়ুতে ওজন হইল $(w_1 - w_2)$ গ্রাম।

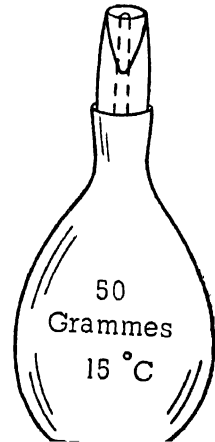
সুতরাং, কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{(\text{কঠিন পদার্থের}) \text{ বায়ুতে ওজন}}{(\text{কঠিন পদার্থের}) \text{ বায়ুতে ওজন} - \text{জলে ওজন}}$$

$$= \frac{w_1 - w_2}{(w_1 - w_2) - (w_1 - w_3)} = \frac{w_1 - w_2}{w_3 - w_2}$$

আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল (Specific Gravity Bottle)**ঃ** ইহা কুঁজার মতো আকৃতির একটি ছোট কাচের পাত্র। ইহার ভিতরের আয়তন সাধারণত 25 সি. সি. বা 50 সি. সি. হইয়া থাকে। বোতলের গলাটি একটু দীর্ঘ এবং মুখ বন্ধ করিবার জন্য ঐরূপ দীর্ঘ একটি কাচের ছিপি বা স্টপার (stopper) ব্যবহৃত হয়। স্টপারের ভিতর আগাগোড়া একটি সরু নালী, (bore) আছে। বোতলটি যখন কোনও তরলে

৫৮নং চিত্র ঃ আপেক্ষিক গুরুত্বমাপক বোতল

পূর্ণ থাকে তখন স্টপার বন্ধ করিলে অতিরিক্ত তরল স্টপারের নালী বাহিয়া বাহির হইয়া আসিতে পারে। ইহার সাহায্যে কোনও তরল বা গুঁড়া অবস্থায় কোনও কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়।

তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ঃ প্রথমে শুষ্ক অবস্থায় শূন্য বোতলটির ওজন লইতে হইবে। তারপর বোতলটি তরলে পূর্ণ করিয়া স্টপার বন্ধ করিয়া আবার ওজন লইতে হইবে। তৃতীয়ত, বোতলটি তরলশূন্য এবং পরিষ্কার করিয়া (প্রয়োজন হইলে শুষ্ক করিয়া) উহা জল দ্বারা পূর্ণ করিয়া পুনরায় ওজন লইতে হইবে। মনে করা যাক্,

শূন্য বোতলের ওজন $= w_1$ গ্রাম
তরলপূর্ণ " " $= w_2$ "
জলপূর্ণ " " $= w_3$ "

∴ বোতলের ভিতরের সম-আয়তনের তরলের ওজন $= (w_2 - w_1)$ গ্রাম
এবং " " " জলের ওজন $= (w_3 - w_1)$ গ্রাম

∴ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{w_2 - w_1}{w_3 - w_1}$

কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় : আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে কোনও কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইলে কঠিন পদার্থের খণ্ডগুলি আকারে এমন ছোট হওয়া প্রয়োজন যে উহাদের যেন অনায়াসে বোতলের সরু গলার ভিতর দিয়া বোতলে ভরা এবং বোতল হইতে বাহির করা যায়। এইজন্য বালির মতো (granular) ছোট বেলাসিত আকারের অথবা গুঁড়া পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব এই বোতলের সাহায্যে নির্ণয় করা হয়। এখানে বালির আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় প্রণালী বর্ণিত হইল।

প্রণালী : (1) প্রথমে শুষ্ক ও শূন্য বোতলের (স্টপারসহ) ওজন লওয়া হয়।

(2) বোতলটি প্রায় অর্ধাংশ বালি দ্বারা পূর্ণ করিয়া ওজন লওয়া হয়।

(3) বোতলের বালি ভিন্ন অবশিষ্টাংশ জল দ্বারা পূর্ণ করা হয় এবং বালি ও জল সমেত বোতলের ওজন লওয়া হয়।

(4) বালি ও জল ফেলিয়া দিয়া বোতলটি পরিষ্কার করিয়া কেবল জলপূর্ণ অবস্থায় বোতলের ওজন লওয়া হয়।

মনে করা যাক্ :

শূন্য বোতলের ওজন $= w_1$ গ্রাম
বোতল ও বালির ওজন $= w_2$ গ্রাম
বোতল, বালি ও জলের ওজন $= w_3$ গ্রাম
জলপূর্ণ বোতলের ওজন $= w_4$ গ্রাম

গণনা : এখন গৃহীত বালির ওজন $= (w_2 - w_1)$ গ্রাম।
বোতলের ভিতরের সম-আয়তন জলের ওজন $= (w_4 - w_1)$ গ্রাম।
বালিদ্বারা অধিকৃত স্থান ব্যতীত অবশিষ্ট স্থানের সম-আয়তন জলের ওজন
$= (w_3 - w_2)$ গ্রাম।

সুতরাং, বালির সম-আয়তন জলের ওজন
$= (w_4 - w_1) - (w_3 - w_2)$ গ্রাম ;

অতএব সংজ্ঞানুসারে,

বালির আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{\text{গৃহীত বালির ওজন}}{\text{গৃহীত বালির সম-আয়তন জলের ওজন}}$

$$= \frac{w_2 - w_1}{(w_4 - w_1) - (w_3 - w^2)}$$

যদি কঠিন পদার্থটি জলে দ্রবণীয় হয় তাহা হইলে অন্য কোনও তরল লইয়া একই প্রণালী অনুসরণ করিতে হইবে। কিন্তু এইভাবে প্রাপ্ত ফলকে গৃহীত তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব দ্বারা গুণ করিলে কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব পাওয়া যাইবে। কারণ,

গৃহীত কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$=\frac{\text{কঠিন পদার্থের ওজন}}{\text{কঠিন পদার্থের সম-আয়তন জলের ওজন}}$$

$$=\frac{\text{কঠিন পদার্থের ওজন}}{\text{সম-আয়তন গৃহীত তরলের ওজন}}\times\frac{\text{সম-আয়তন গৃহীত তরলের ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}$$

$$=\frac{\text{কঠিন পদার্থের ওজন}}{\text{সম-আয়তন তরলের ওজন}}\times\text{তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব}$$

উদাহরণ 1: একটি বোতলের শূন্য অবস্থায় ওজন 20·2 গ্রাম। জল ও কেরোসিন তেলে পূর্ণ অবস্থায় উহার ওজন যথাক্রমে 50·4 গ্রাম এবং 44·6 গ্রাম। কেরোসিন তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

প্রশ্নানুসারে,

পাত্রের সম-আয়তন জলের ওজন $=(50{\cdot}4-20{\cdot}2)$ গ্রাম
$=30{\cdot}2$ গ্রাম

এবং " " কেরোসিন তেলের ওজন $=(44{\cdot}6-20{\cdot}2)$ গ্রাম
$=24{\cdot}4$ গ্রাম

সুতরাং, কেরোসিন তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $=\frac{24{\cdot}4}{30{\cdot}2}=0{\cdot}80$

উদাহরণ 2: আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপক বোতলের সাহায্যে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের কোনও পরীক্ষায় নিম্নলিখিত ফলগুলি পাওয়া গেল :

শূন্য বোতলের ওজন $=20$ গ্রাম, জলপূর্ণ বোতলের ওজন $=50$ গ্রাম, কঠিন পদার্থসমেত বোতলের ওজন $=42$ গ্রাম, কঠিন পদার্থ ও জলসমেত বোতলের ওজন $=62$ গ্রাম। কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

প্রশ্নানুসারে,

গৃহীত কঠিন পদার্থের ওজন $=(42-20)$ গ্রাম $=22$ গ্রাম।

কঠিন পদার্থের সম-আয়তন জলের ওজন

$=(50-20)-(62-42)$ গ্রাম $=10$ গ্রাম

সুতরাং, নির্ণেয় আপেক্ষিক গুরুত্ব $=\frac{22}{10}=2{\cdot}20$

আপেক্ষিক গুরুত্ব ও ঘনত্ব

আমরা দেখিয়াছি,

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{কোনও নির্দিষ্ট আয়তনের আলোচ্য পদার্থের ওজন}}{\text{একই আয়তনের প্রামাণিক পদার্থের ওজন}}$$

যদি নির্দিষ্ট আয়তনকে একক আয়তন ধরা হয় তাহা হইলে,

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{একক আয়তনের আলোচ্য পদার্থের ওজন}}{\text{একক আয়তনের প্রামাণিক পদার্থের ওজন}}$$

কিন্তু ওজন ও ভর সমানুপাতী, সুতরাং বলা যায় :

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{একক আয়তনের আলোচ্য পদার্থের ভর}}{\text{একক আয়তনের প্রামাণিক পদার্থের ভর}}$$

কিন্তু, সংজ্ঞানুসারে কোনও পদার্থের একক আয়তনের ভর = উহার ঘনত্ব।

$$\text{সুতরাং, আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{আলোচ্য পদার্থের ঘনত্ব}}{\text{প্রামাণিক পদার্থের ঘনত্ব}}$$

সুতরাং, আপেক্ষিক গুরুত্বকে প্রামাণিক পদার্থের সহিত আপেক্ষিক ঘনত্ব বা **তুলনামূলক ঘনত্ব** (Relative Density) বলা যাইতে পারে। আপেক্ষিক গুরুত্ব একটি অনুপাত। সুতরাং ইহার কোনও একক নাই। অতএব **আপেক্ষিক গুরুত্ব একটি শুদ্ধ সংখ্যা।**

কিন্তু ঘনত্বের একক আছে। সি. জি. এস. প্রণালীতে ঘনত্বের একক গ্রাম/সি. সি.। এফ. পি. এস. প্রণালীতে ঘনত্বের একক পাউণ্ড/ঘনফুট।

কোনও পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব D হইলে,

$$D = \frac{\text{আলোচ্য পদার্থের ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}}$$

$$= \frac{\text{সি. জি. এস. এককে আলোচ্য পদার্থের ঘনত্ব}}{1 \text{ গ্রাম/সি. সি.}}$$

$\therefore$ সি. জি. এস. এককে আলোচ্য পদার্থের ঘনত্ব

$$= D \times 1 \text{ গ্রাম/সি. সি.} = D \text{ গ্রাম/সি. সি.}$$

$\therefore$ কোনও পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব ও সি. জি. এস. এককে ঘনত্বের সাংখ্যমান সমান।

আবার, এফ. পি. এস. এককে জলের ঘনত্ব = 62·5 পাউণ্ড/ঘনফুট

$$\text{সুতরাং, } D = \frac{\text{এফ. পি. এস. এককে আলোচ্য পদার্থের ঘনত্ব}}{62{\cdot}5 \text{ পাউণ্ড/ঘনফুট}}$$

$\therefore$ এফ. পি. এস. এককে উহার ঘনত্ব $= D \times 62{\cdot}5$ পাউণ্ড/ঘনফুট

অর্থাৎ এফ. পি. এস. এককে কোনও পদার্থের ঘনত্ব=উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব × 62·5 পাউণ্ড/ঘনফুট।

আপেক্ষিক গুরুত্ব ও ঘনত্বের এই তুলনা হইতে আমরা বলিতে পারি, সি. জি. এস. এককে কোনও পদার্থের ঘনত্ব নির্ণয় করিলে তাহা হইতেই উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব পাওয়া যাইবে। উভয়ের সাংখ্যমান একই হইবে; একক বিহীন ঘনত্ব লিখিলেই আপেক্ষিক গুরুত্ব পাওয়া যাইবে। উদাহরণস্বরূপ যদি কোনও পদার্থের ঘনত্ব=প্রতি সি. সি.-তে D গ্রাম হয়, তাহা হইলে উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব=D. অতএব পূর্বে ঘনত্বের অধ্যায়ে ঘনত্ব নির্ণয়ের যে সমস্ত প্রণালী বর্ণিত হইয়াছে উহাদের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের জন্যও সেই সমস্ত প্রণালী প্রয়োগ করা চলিবে।

গ্যাসের আপেক্ষিক গুরুত্ব

পূর্বে বলা হইয়াছে, কোনও গ্যাসের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইলে একই উষ্ণতায় ও চাপে সম-আয়তনের আলোচ্য গ্যাস ও হাইড্রোজেন লইতে হইবে। হাইড্রোজেনের তুলনায় ঐ গ্যাস যতগুণ ভারী হইবে তাহাই উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব। হাইড্রোজেন সমস্ত গ্যাসের মধ্যে সর্বাপেক্ষা লঘু বলিয়া ইহাকে প্রামাণিক পদার্থ ধরা হইয়াছে। উদাহরণস্বরূপ একই চাপ ও উষ্ণতায়

$$\frac{\text{একক আয়তনের অক্সিজেন গ্যাসের ওজন}}{\text{একক আয়তনের হাইড্রোজেন গ্যাসের ওজন}}=16$$

সুতরাং, অক্সিজেনের আপেক্ষিক গুরুত্ব=16

অথবা, বলা যায়, $\frac{\text{অক্সিজেনের ঘনত্ব}}{\text{হাইড্রোজেনের ঘনত্ব}}=16$

ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের তুলনা

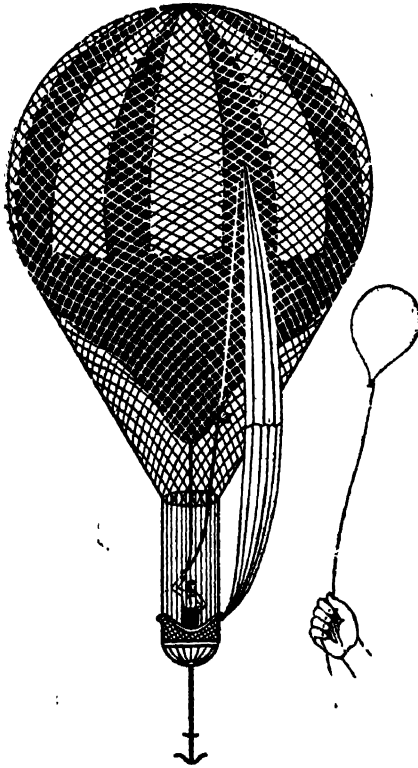
(Density and Specific gravity compared)

ঘনত্ব	আপেক্ষিক গুরুত্ব
1. বস্তুর একক আয়তনের ভর।	1. সম আয়তন জল (4°C উষ্ণতায়) অপেক্ষা বস্তুটি কতগুণ ভারী।
2. পরিমাপের একক : (i) গ্রাম প্রতি সি. সি. (সি. জি. এস.) (ii) পাউণ্ড প্রতি ঘনফুট (এফ.পি.এস.)	2. পরিমাপের কোনও একক নাই। ইহা সংখ্যামাত্র।
3. (i) সি. জি. এস. এককে ঘনত্ব=আপেক্ষিক গুরুত্ব (ii) এফ. পি. এস. এককে ঘনত্ব=আপেক্ষিক গুরুত্ব × 62·5	3. (i) সি. জি. এস. এককে আপেক্ষিক গুরুত্ব=ঘনত্ব (ii) এফ. পি. এস. এককে আপেক্ষিক গুরুত্ব $=\frac{\text{ঘনত্ব}}{62·5}$

বেলুন
[Balloon]

হাইড্রোজেন, কোলগ্যাস (coal gas) প্রভৃতি বাতাস অপেক্ষা হালকা কোনও গ্যাসের দ্বারা রেশমের কাপড়ে তৈয়ারী একটি বেলুনকে পূর্ণ করিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা বায়ুতে ভাসিয়া উপরে উঠিয়া যায়। ইহা বায়ুতে আর্কিমিদিসের সূত্র প্রয়োগের একটি উদাহরণ।

কোনও বস্তু বায়ু বা অন্য কোনও গ্যাসে নিমজ্জিত হইলে উহার উপর বায়ুর প্লবতা বা ঊর্ধ্বঘাত প্রযুক্ত হয় এবং এই প্লবতা ঐ বস্তু দ্বারা অপসারিত বায়ু বা গ্যাসের ওজনের সমান। কিন্তু সাধারণ কঠিন ও তরল বস্তুসমূহের আপেক্ষিক গুরুত্ব বায়ুর তুলনায় এত অধিক যে উহাদের ক্ষেত্রে প্লবতা অনুভূত হয় না; কিন্তু বায়ু অপেক্ষা লঘু কোনও গ্যাস দ্বারা একটি বেলুনকে পূর্ণ করিলে উহা যতখানি বায়ুকে অপসারিত করে তদপেক্ষা উহার ওজন কম হইতে পারে। অতএব উহার উপর প্রযুক্ত প্লবতা উহার ওজন অপেক্ষা বেশী হওয়ায় উহা উপরে উঠিতে থাকে। জলে নিমজ্জিত এক টুকরা কাঠ যেমন ভাসিয়া উঠে ইহাও ঠিক সেইরূপ। ফানুসও একই কারণে উপরে উঠে।

৫৯নং চিত্র: বেলুন

লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে বেলুন বা ফানুস আকাশে কিছুদূর উঠিয়া ভাসিয়া বেড়ায়, আর উপরে উঠে না। ইহার কারণ উপরের বাতাস ক্রমশঃ লঘু হইয়া গিয়াছে। সুতরাং যে স্তরে বাতাসের ঘনত্ব এমন হয় যে অপসারিত বায়ুর ওজন ও বেলুনের ওজন সমান, সেই স্তরের উপরে আর বেলুন উঠিতে পারে না। সেই স্তরেই বেলুন বায়ুস্রোতে ভাসিয়া বেড়ায়।

আপেক্ষিক গুরুত্বের তালিকা

কঠিন ও তরল পদার্থ (জলের তুলনায়)		গ্যাসীয় পদার্থ (হাইড্রোজেনের তুলনায়)	
লোহা	7·8	অক্সিজেন	16

কঠিন ও তরল পদার্থ (জলের তুলনায়)		গ্যাসীয় পদার্থ (হাইড্রোজেনের তুলনায়)	
সোনা	19·3	নাইট্রোজেন	14
রূপা	10·5	অঙ্গারাম্ল গ্যাস	22
পারদ	13·6	হাইড্রোজেন	1
মোম	·95		
শোলা	·22		
রবার	·91		
দুধ	1·03		
জল	1·00		
কেরোসিন তেল	0·8		

উদাহরণ 1: একটি পিতলের টুকরার ওজন 42 গ্রাম, কিন্তু জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন 37 গ্রাম। পিতলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

সূত্র (i) অনুসারে, আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{\omega_1}{\omega_1 - \omega_2}$

$$= \frac{42}{42-37} = \mathbf{8 \cdot 4}$$

উদাহরণ 2: একটি মোমের ডেলার ওজন 19·2 গ্রাম এবং জলে নিমজ্জিত অবস্থায় একটি লোহার টুকরার ওজন 30·8 গ্রাম। কিন্তু লোহার টুকরা ও মোমের ডেলাকে একসঙ্গে বাঁধিয়া জলে ডুবাইয়া ওজন করিলে 30 গ্রাম হয়। মোমের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

সূত্র (ii) অনুসারে,

মোমের বায়ুতে ওজন বা $\omega_1 = 19·2$ গ্রাম,

মোমের বায়ুতে ও লোহার টুকরার জলে ওজনের সমষ্টি

বা $\omega_2 = 19·2 + 30·8$ বা 50 গ্রাম

মোম ও লোহা উভয়ের নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন

বা $\omega_3 = 30$ গ্রাম

সুতরাং, নির্ণেয় আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{\omega_1}{\omega_2 - \omega_3} = \dfrac{19·2}{50-30} = \mathbf{0·96}$

উদাহরণ 3: এক টুকরা মোম $\frac{14}{15}$ অংশ নিমজ্জিত অবস্থায় জলে ভাসিয়া থাকে। মোমের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

মনে করা যাক, মোমের টুকরাটির আয়তন $= v$ সি. সি.

∴ উহার দ্বারা অপসারিত জলের আয়তন $= \frac{14}{15}v$ সি. সি.

∴ উহার ওজন = অপসারিত জলের ওজন $= \frac{14}{15}v$ গ্রাম

∴ মোমের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{\text{মোমের ওজন}}{\text{মোমের সম-আয়তন জলের ওজন}} = \frac{\frac{14}{15}v \text{ গ্রাম}}{v \text{ গ্রাম}}$$

$$= \tfrac{14}{15} = \mathbf{0·933}$$

উদাহরণ 4 : একটি তুলার দুই বাহু হইতে ঝুলাইয়া দিলে দুইটি বস্তু জলে নিমজ্জিত অবস্থায় তুলার সমতা উৎপন্ন করে। একটি বস্তুর ভর 25 গ্রাম এবং ঘনত্ব 2·5 গ্রাম/সি. সি.। অপর বস্তুটির ভর 30 গ্রাম হইলে, উহার ঘনত্ব কত ?

প্রথম বস্তুটির আয়তন $= \frac{\text{ভর}}{\text{ঘনত্ব}} = \frac{25}{2 \cdot 5}$ বা 10 সি. সি.

অতএব, উহার নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন = (প্রকৃত ওজন) − (অপসারিত জলের ওজন) $= (25 - 10)$ গ্রাম $= 15$ গ্রাম।

মনে করা যাক্, দ্বিতীয় বস্তুর ঘনত্ব $= d$ গ্রাম/সি. সি.

তাহা হইলে, উহার আয়তন $= \frac{\text{ভর}}{\text{ঘনত্ব}} = \frac{30}{d}$ সি. সি.

∴ নিমজ্জিত অবস্থায় উহার ওজন = (প্রকৃত ওজন)

− (অপসারিত জলের ওজন) $= \left(30 - \frac{30}{d}\right)$ গ্রাম।

কিন্তু প্রশ্নানুসারে, নিমজ্জিত অবস্থায় উভয় বস্তুর ওজন সমান।

সুতরাং, $15 = 30 - \frac{30}{d}$

বা, $\frac{30}{d} = 30 - 15 = 15$ [পক্ষান্তর করিয়া]

বা, $\frac{2}{d} = 1$; বা, $d = 2$.

∴ নির্ণেয় ঘনত্ব 2 গ্রাম/সি. সি.।

উদাহরণ 5 : সোনা ও তামার একখণ্ড মিশ্র ধাতুর বায়ুতে এবং জলে ওজন যথাক্রমে 30 গ্রাম ও 27 গ্রাম। সোনা ও তামার আপেক্ষিক গুরুত্ব যথাক্রমে 19·3 ও 9 হইলে ঐ মিশ্রধাতুতে কোন্ উপাদান কত পরিমাণে মিশ্রিত আছে ?

মনে করা যাক্, মিশ্র ধাতুতে x গ্রাম সোনা আছে

সুতরাং, তামার ভর $= (30 - x)$ গ্রাম।

∴ সোনার আয়তন $= \frac{\text{ভর}}{\text{ঘনত্ব}} = \frac{x \text{ গ্রাম}}{19 \cdot 3 \text{ গ্রাম/সি. সি.}} = \frac{x}{19 \cdot 3}$ সি. সি.

এবং তামার আয়তন $= \frac{\text{ভর}}{\text{ঘনত্ব}} = \frac{(30 - x) \text{ গ্রাম}}{9 \text{ গ্রাম/সি. সি.}} = \frac{30 - x}{9}$ সি. সি.

∴ মিশ্র ধাতু দ্বারা অপসারিত জলের ওজন = মিশ্র ধাতুর সম-আয়তন

জলের ওজন $= \left(\frac{x}{19 \cdot 3} + \frac{30 - x}{9}\right)$ গ্রাম

কিন্তু, অপসারিত জলের ওজন

= বায়ুতে ওজন − জলে ওজন

$= (30 - 27)$ গ্রাম $= 3$ গ্রাম

সুতরাং, $\frac{x}{19 \cdot 3}+\frac{30-x}{9}=3$

বা, $9x+579-19 \cdot 3x=521 \cdot 1$

বা, $10 \cdot 3x=57 \cdot 9$

$\therefore \quad x=\frac{57 \cdot 9}{10 \cdot 3}=5 \cdot 62$

∴ সোনার ওজন = **5·62** গ্রাম

এবং তামার ওজন = 30 − 5·62 বা **24·38** গ্রাম।

সারাংশ

আপেক্ষিক গুরুত্ব (Specific Gravity) : নির্দিষ্ট আয়তনের কোনও পদার্থ সমান আয়তনের একটি প্রামাণিক পদার্থের তুলনায় যতগুণ ভারী বা হালকা, তাহাকে উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব বলে।

কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব—ঔদস্থিতিক তুলার (Hydrostatic Balance) সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। সাধারণ হাইড্রোমিটারে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব এবং নিকলসনের হাইড্রোমিটারে তরল বা কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়।

আপেক্ষিক গুরুত্ব একটি অনুপাত, অতএব ইহা একটি শুদ্ধ সংখ্যা (Pure number); অর্থাৎ ইহার কোনও একক নাই। কিন্তু ঘনত্বের একক সি. জি. এস. প্রণালীতে গ্রাম/সি. সি. এবং এফ. পি. এস. প্রণালীতে পাউণ্ড/ঘনফুট। আপেক্ষিক গুরুত্বকে জলের তুলনায় **তুলনামূলক ঘনত্ব** (Relative Density) বলা যাইতে পারে।

সি. জি. এস. প্রণালীতে এক সি. সি. জলের ওজন 1 গ্রাম ধরায় ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের সাংখ্যমান (Numerical value) সমান। কিন্তু এফ. পি. এস. এককে এক ঘনফুট জলের ওজন $62\frac{1}{2}$ পাউণ্ড হওয়ায় **ঘনত্ব** = আপেক্ষিক গুরুত্ব × $62\frac{1}{2}$ পাউণ্ড/ঘনফুট।

গ্যাসের ক্ষেত্রে হাইড্রোজেন গ্যাস লঘুতম বলিয়া উহাকে প্রামাণিক পদার্থ ধরিয়া সম-আয়তন হাইড্রোজেনের তুলনায় কোনও গ্যাস যতগুণ ভারী তাহাকে উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব বলে।

বেলুনের মধ্যে বাতাস অপেক্ষা কম আপেক্ষিক গুরুত্ববিশিষ্ট কোনও গ্যাস ভরিয়া দেওয়া হয়। ইহাতে বেলুনটির সম্পূর্ণ ওজন উহা দ্বারা অপসারিত বাতাসের ওজন অপেক্ষা কম হয়, সেইজন্য বেলুন উপরে উঠে।

অনুশীলনী

1. *Define Specific Gravity. Explain why iron sinks in water but floats in mercury.*

2. *Describe a common Hydrometer with a diagram and explain its use.*

3. *Describe a Nicholson Hydrometer with a diagram. How will you determine the specific gravity of a liquid with it? A Nicholson Hydrometer weighs 197·5 gms. When 2·5 gms. of weights are placed on its upper pan, it sinks up to a mark in water; but when 6·5 gms. are placed, it sinks up to the same mark in a liquid. Find the specific gravity of the liquid.*

4. *A ship when unloaded weighs 3150 tons. When loaded with 1850 tons of cargo, she sinks up to a certain mark in the saltless river water; but when loaded with 2000 tons of cargo, she sinks up to the same mark in the saline sea water. What is the specific gravity of the sea water?*

5. *Describe how you will proceed to determine the specific gravity of solid with a Nicholson Hydrometer.*

6. *Describe the methods of finding specific gravity of a solid and a liquid with a hydrostatic balance.*

7. *A piece of stone weighs 20·5 gms. and 12·61 gms. respectively in air and water. What is its specific gravity?*

8. *Compare specific gravity with density. Why is specific gravity called relative density?*

9. *Specific gravity of a substance is 13·6. What is its density in C. G. S. and F. P. S. units?*

10. *Define the specific gravity of a gas. What is meant by the statement—specific gravity of Oxygen is 16? Why does a balloon rise into the air? Why does it float about after rising up to a certain height?*

॥ উত্তর ॥

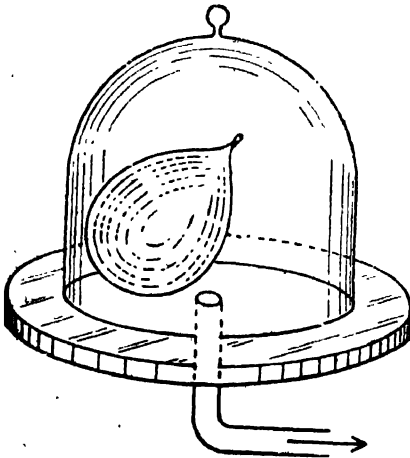
3. 1·02, 4. 1·03, 7. 2·6.

বায়ুমণ্ডলের চাপ

[Atmospheric Pressure]

মাছ যেমন জলে বাস করে, আমরা স্থলচর জীবেরাও সেইরূপ বায়ু-সমুদ্রে ডুবিয়া আছি। ভূ-পৃষ্ঠ হইতে ঊর্ধ্বে 200 মাইল পর্যন্ত বা তাহারও উপরে বায়ুর অস্তিত্ব জানা গিয়াছে। অবশ্য যত উপরে উঠা যায় বায়ুর ঘনত্ব ততই কমিয়া যায়। জলের নীচে যেমন উপরের স্তরের জল চাপ প্রয়োগ করে, এই উচ্চ বায়ুস্তরও অবশ্যই সেইরূপ চাপ প্রয়োগ করিবে। কয়েকটি সহজ পরীক্ষা দ্বারা এই চাপের অস্তিত্ব প্রমাণ করা যায়।

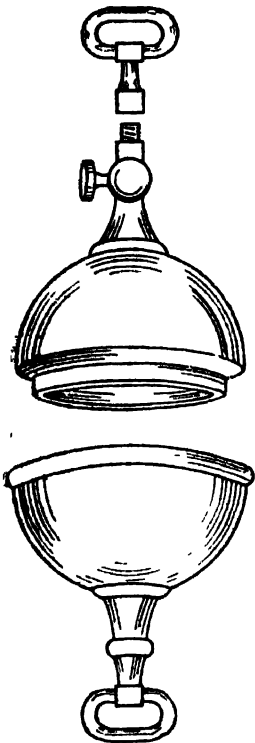
প্রথম পরীক্ষা : একটি দুই-মুখ খোলা মোটা কাঁচের চোঙ লইয়া একটি মুখ রবারের পর্দা দ্বারা শক্ত করিয়া বাঁধিয়া বন্ধ করা হইল। তারপর উহাকে একটি বায়ুশোষক পাম্পের পাটাতনের উপর রাখা হইল যাহাতে রবারের পর্দার বন্ধ মুখটি উপরের দিকে থাকে। এখন পাম্পের সাহায্যে বায়ু শোষণ করিতে আরম্ভ করিলে দেখা যাইবে যত বায়ু শোষিত হইতেছে তত পর্দাটি নীচে ঝুলিয়া পড়িতেছে।

৬০নং চিত্র : বায়ুচাপের পরীক্ষা

৬১নং চিত্র : বায়ুচাপের দ্বিতীয় পরীক্ষা

আবার যেই পাম্প হইতে বিচ্ছিন্ন করিয়া চোঙের ভিতর বায়ু প্রবেশ করাইয়া দেওয়া হইল ততক্ষণাৎ পর্দাটি পূর্বের মতো সমতল আকার ধারণ করিল। পর্দার উপর বায়ুর চাপ সর্বদা ক্রিয়া করিতেছে। কিন্তু নীচের বায়ু শোষণ করিয়া লওয়ায় পর্দার নীচে চাপ কমিয়া গেল। সুতরাং উপরের অতিরিক্ত চাপে পর্দা ঝুলিয়া পড়িল। বেশী বায়ু শোষণ করিলে অধিক চাপের ফলে পর্দা ফাটিয়া যাইতে পারে।

দ্বিতীয় পরীক্ষা : একটি রবারের ছোট বেলুনে সামান্য হাওয়া পুরিয়া উহার মুখ বন্ধ করা হইল। তারপর বেলুনটি একটি শোষক-পাম্পের

প্রকোষ্ঠের ভিতর রাখিয়া বায়ু নিষ্কাশন করিলে দেখা যাইবে বেলুনটি ধীরে ধীরে ফুলিয়া শেষে ফাটিয়া গেল। ইহার কারণস্বরূপ বলা যায় প্রকোষ্ঠের ভিতরে বাতাস শোষণ করিয়া লওয়ায় বেলুনের বাহিরের বাতাসের চাপ কমিয়া যায় এবং বেলুনের ভিতরের চাপ ক্রমশ বৃদ্ধি পায়। তাহারই জোরে বেলুনটি ফুলিয়া উঠিয়া ফাটিয়া যায়।

তৃতীয় পরীক্ষা (গ্যারিকের পরীক্ষা) : অটো ভন গ্যারিক (Otto von Guericke) জার্মানীর ম্যাগডিবার্গ শহরের ম্যাজিস্ট্রেট ছিলেন। ১৬৫৪ খৃষ্টাব্দে তিনি একটি বিখ্যাত পরীক্ষা দ্বারা বায়ুমণ্ডলের প্রচণ্ড চাপের অস্তিত্ব প্রমাণ করেন। গ্যারিক তাঁহার পরীক্ষার জন্য দুইটি খুব বড় ও ফাঁপা অর্ধগোলক (hollow hemispheres) তৈয়ারি করান। ইহাদের **ম্যাগডিবার্গ অর্ধগোলক** বলা হয়। অর্ধগোলক দুইটি ঠিক মুখে মুখে লাগিয়া একটি পূর্ণগোলক সৃষ্টি করিত এবং জোড়ের মুখে ভেসলিন বা আঠা দিয়া বায়ু প্রবেশের ছিদ্র বন্ধ করা হইত। প্রত্যেকটি অর্ধ-গোলকে একটি করিয়া বড় আংটা লাগান ছিল এবং একটির সহিত নল ও নলের সহিত একটি চাবি বা স্টপকক (Stopcock) লাগান ছিল। অর্ধগোলক দুইটি মুখে মুখে লাগাইয়া নলের সহিত শোষক-পাম্প সংযুক্ত করিয়া যতদূর সম্ভব বায়ু শোষণ করিয়া স্টপককটি বন্ধ করা হইত। তারপর দুই পাশে আটটি করিয়া বলিষ্ঠ ঘোড়ায় টানিয়াও অর্ধগোলক দুইটিকে বিচ্ছিন্ন করিতে পারিত না। গোলকটির চারিদিকে বাহিরের বায়ু চাপ দিত, কিন্তু ভিতরের বায়ু নিষ্কাশিত হওয়ায় ভিতরের চাপ খুব কমিয়া যাইত। সেইজন্য বাহিরের প্রচণ্ড চাপে অর্ধগোলক দুইটি দৃঢ়ভাবে সংলগ্ন থাকিত। কিন্তু আবার স্টপককটি খুলিয়া ভিতরে বায়ু প্রবেশ করাইয়া দিলে অর্ধগোলক দুইটি আপনা হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া যাইত।

৬২নং চিত্র : ম্যাগডিবার্গ অর্ধগোলক

পরীক্ষাগারে ছোট ম্যাগডিবার্গ অর্ধগোলক ও শোষক-পাম্প লইয়া এই পরীক্ষা সাধারণভাবে করা যাইতে পারে।

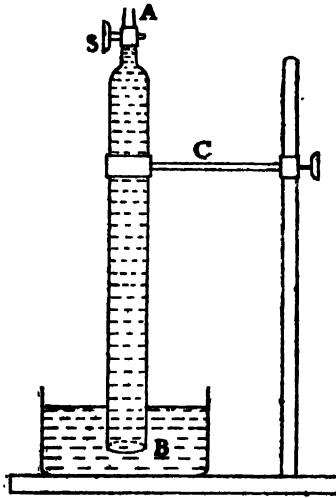
বায়ুর চাপের দ্বারা তরলস্তম্ভ ধারণ

[Supporting liquid columns by atmospheric pressure]

চতুর্থ পরীক্ষা : একটি গ্লাস জলে পূর্ণ করিয়া উহার মুখে একটি পাতলা

কাচের প্লেট চাপা দেওয়া হইল। প্লেটটি আঙুল দিয়া গ্লাসের উপর চাপিয়া তাড়াতাড়ি গ্লাসটি উপুড় করা হইল। এখন আঙুল সরাইয়া লইলেও দেখা যাইবে প্লেট বা জল কিছুই নীচে পড়িতেছে না। প্লেটের নীচে বায়ু যে ঊর্ধ্বচাপ দিতেছে তাহা প্লেটের উপরের জলের চাপ অপেক্ষা বেশী। সেইজন্য বায়ুর ঊর্ধ্বচাপ প্লেটটিকে ধরিয়া রাখিয়াছে।

৬৩নং চিত্র : বায়ুর ঊর্ধ্বচাপের পরীক্ষা

পঞ্চম পরীক্ষা : একটি ব্যুরেট (Burette) লওয়া হইল। ব্যুরেট একটি কাচের নল। ইহার B মুখটি খোলা এবং A মুখটি অপেক্ষাকৃত সরু স্টপকক্ S দ্বারা বন্ধ। বন্ধ মুখটি নীচে রাখিয়া ব্যুরেটটি জলে পূর্ণ করা হইল। তারপর খোলা মুখ আঙুল দিয়া বন্ধ করিয়া ব্যুরেটটি উলটাইয়া খোলা মুখটি একটি জলের পাত্রে ডুবান হইল। এই অবস্থায় ব্যুরেটটি C ক্ল্যাম্পের সাহায্যে ধরিয়া রাখিয়া নীচের আঙুল সরাইয়া লওয়া হইল। দেখা যাইবে, ব্যুরেট হইতে জল নীচে নামিতেছে না। বায়ুর চাপের দ্বারাই জলকে ব্যুরেটের মধ্যে ধরিয়া রাখা হইয়াছে। এখন স্টপকক্ খুলিয়া দিলে উপর হইতে ব্যুরেটের ভিতরে বায়ু প্রবেশ করিতে আরম্ভ করিবে এবং জল নীচে নামিয়া যাওয়ায় ব্যুরেটটি জলশূন্য হইয়া যাইবে। স্টপককটি খুলিয়া দেওয়ায় যখন ব্যুরেটের জলস্তম্ভের উপরেও বায়ুর চাপ পড়ে তখন জল নীচে নামিয়া যায়।

৬৪নং চিত্র : ব্যুরেট দ্বারা পরীক্ষা

টরিসেলির পরীক্ষা

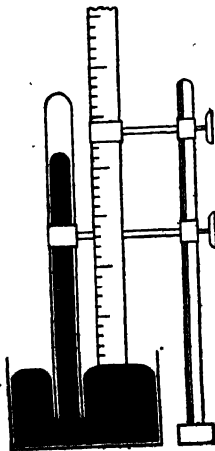
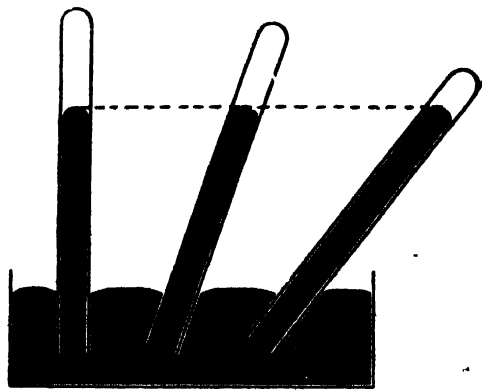
[Torricelli's Experiments]

বায়ুর চাপ সম্বন্ধে টরিসেলির পরীক্ষাগুলিই সর্বাপেক্ষা বিখ্যাত। টরিসেলি সপ্তদশ শতাব্দীর বিখ্যাত ইতালীয় বৈজ্ঞানিক গ্যালিলিওর ছাত্র ছিলেন।

শোষক-পাম্পের সাহায্যে কূপ হইতে জল কেন 34 ফুটের উপরে তোলা যায় না, এই সম্বন্ধে গ্যালিলিও তাঁহাকে অনুসন্ধান করিতে বলেন। টরিসেলি দেখিলেন বায়ুর চাপের জন্যই শোষক-পাম্প বা পিচকারিতে জল উঠে।

জলাধারে অবস্থিত জলের উপরিতলের উপর বায়ুমণ্ডল চাপ দেয়। তরলের ধর্ম অনুসারে একই সমতলে অবস্থিত যে কোনও বিন্দুতে এই চাপ সর্বত্র সমান হইবে। শোষক-পাম্পের দণ্ডটি উপরের দিকে তুলিলে পাম্পের নলের মধ্যে অবস্থিত জলের উপরিতলে চাপ কমিয়া যায়। অর্থাৎ নলের বাহিরে উন্মুক্ত স্থানে অবস্থিত জলের উপরিতলের চাপ ও নলের ভিতরে জলের উপর প্রযুক্ত চাপ অসমান হয়। চাপ অসমান হওয়ার ফলেই পাম্পের ভিতর জল উঠিতে থাকে। জল উঠিবার ফলে বাহিরের জলের সহিত এক সমতলে নলের ভিতরের চাপ ক্রমশ বৃদ্ধি পায়। ভিতরের ঐ চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হইলে আর জল উঠে না।

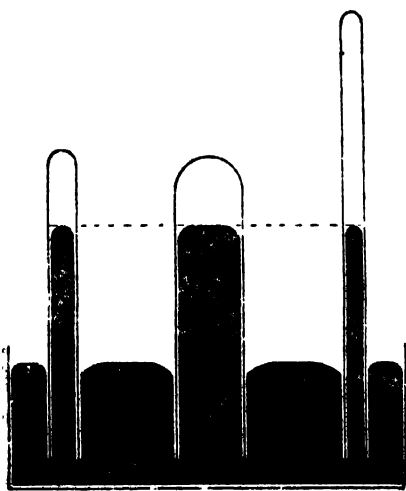
পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে, 34 ফুট উচ্চ জলের স্তম্ভই বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান চাপ দেয়। সেইজন্য 34 ফুটের ঊর্ধ্বে শোষক-পাম্প জল তুলিতে পারে না।

পারদস্তম্ভ লইয়া পরীক্ষা: জল লইয়া পরীক্ষা করিতে হইলে 34 ফুটের বেশী দীর্ঘ নল লওয়া প্রয়োজন। ইহাতে বহু অসুবিধা হয়। কিন্তু আমরা দেখিয়াছি ঘনত্বের সহিত তরলের চাপ বৃদ্ধি পায়। সুতরাং যদি জল অপেক্ষা ভারী কোনও তরল লইয়া পরীক্ষা করা যায়, তাহা হইলে এই অসুবিধা দূর

৬৫নং চিত্র: টরিসেলির পরীক্ষা ৬৬নং চিত্র: টরিসেলির শূন্যস্থান পরীক্ষা

হইতে পারে। পারদের ঘনত্ব জলের প্রায় $13\frac{1}{2}$ গুণ। সুতরাং বায়ুর চাপে পারদস্তম্ভ মাত্র $\frac{34}{13\frac{1}{2}}$ ফুট বা প্রায় 30 ইঞ্চি দাঁড়াইবে। সেইজন্য টরিসেলি পারদ লইয়া পরীক্ষা করেন। তাঁহার পরীক্ষাগুলি পরবর্তী পৃষ্ঠায় বর্ণিত হইতেছে।

40 ইঞ্চির মতো লম্বা একটি এক-মুখ বন্ধ কাচের নল লওয়া হইল। নলটি পারদে পূর্ণ করিয়া খোলা মুখ আঙুল দিয়া চাপিয়া একটি পারদপূর্ণ পাত্রের মধ্যে উপুড় করিয়া খাড়াভাবে ধরা হইল যাহাতে নীচের মুখটি পারদে ভাল করিয়া ডুবিয়া যায়। এইবার হাত সরাইয়া লইলে দেখা যাইবে, নলের পারদস্তম্ভ নামিয়া আসিয়া একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় দাঁড়াইল। নলটিকে এই অবস্থায় একটি ক্ল্যাম্পের দ্বারা খাড়াভাবে ধরিয়া রাখা হইল। এখন পাশে একটি স্কেল লইয়া মাপিলে দেখা যাইবে বাহিরের পাত্রের পারদের উপরিতল হইতে পারদস্তম্ভের উচ্চতা 30 ইঞ্চি বা 76 সেন্টিমিটারের কাছাকাছি।

এখন নলটি ধরিয়া ধীরে ধীরে হেলাইয়া দিলে দেখা যাইবে নলটি যত হেলিতেছে পারদ তত উপরের স্থান পূর্ণ করিতেছে, কিন্তু পারদতল হইতে পারদস্তম্ভ শীর্ষের উচ্চতা একই (76 সে. মি. কাছাকাছি) আছে। এইভাবে নলটি হেলাইলে শেষ পর্যন্ত সমস্ত নলটি পারদপূর্ণ হইয়া যাইবে। পারদের উপরের স্থানে বায়ু বা অপর কোন গ্যাস থাকিলে নিশ্চয়ই এইরূপ হইত না। কারণ গ্যাস চাপে সংকুচিত হইলেও উহার আয়তন একেবারে লুপ্ত হইতে পারে না। সুতরাং খাড়া নলের পারদস্তম্ভের উপর শূন্যস্থান আছে মনে করা যায়। এই শূন্যস্থানকে **টরিসেলির শূন্যস্থান*** বলে।

৬৭নং চিত্র: বায়ুর চাপ-সমতার পরীক্ষা

সরু, মোটা, ছোট, বড় নানা আকারের নল লইয়া পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, প্রত্যেক নলে পারদস্তম্ভ একই উচ্চতায় দাঁড়াইতেছে। ইহার কারণ পারদস্তম্ভ দাঁড়াইতেছে বায়ুর চাপের জন্য। সুতরাং প্রত্যেক নলে পারদস্তম্ভের চাপ বায়ুর চাপের সমান হইবে। কিন্তু আমরা দেখিয়াছি তরলের চাপ পাত্রের আকার বা আয়তনের উপর নির্ভর করে না, তরলস্তম্ভের গভীরতার উপরই নির্ভর করে। যেহেতু প্রত্যেক নলের ক্ষেত্রেই বায়ুর চাপ সমান, সেইজন্য প্রত্যেক নলে পারদের উচ্চতাও সমান হইবে।

চাপমান যন্ত্র

[**Barometer**]

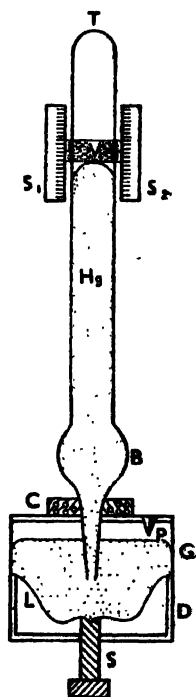
টরিসেলির ব্যারোমিটার: যে যন্ত্রের সাহায্যে বায়ুর চাপ মাপা হয় তাহাকে ব্যারোমিটার বা চাপমান যন্ত্র বলে। টরিসেলি কাচের নলে যে পারদস্তম্ভ

*প্রকৃতপক্ষে এখানে খুব সামান্য পারদবাষ্প থাকে।

দাঁড় করাইয়া পরীক্ষা করেন ঐ পারদস্তম্ভের উচ্চতা দ্বারা বায়ুর চাপ মাপা যাইতে পারে। ইহাই টরিসেলির প্রস্তুত প্রথম বায়ু-চাপমান যন্ত্র। পারদস্তম্ভের পাশে একটি স্কেল দাঁড় করাইয়া দিলে ঐ স্কেলের সাহায্যে পারদস্তম্ভের উচ্চতা মাপা যায়। স্কেলের নিম্নপ্রান্ত নলের বাহিরের পারদতলকে ঠিক স্পর্শ করিবে।

ফর্টিনের চাপমান যন্ত্র

[Fortin's Barometer]

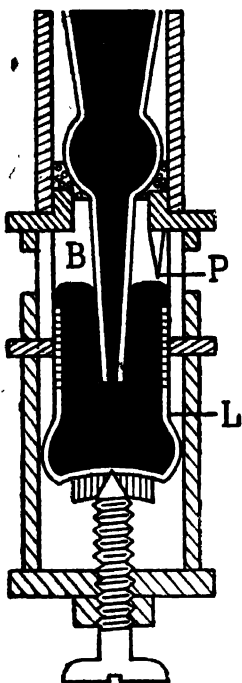
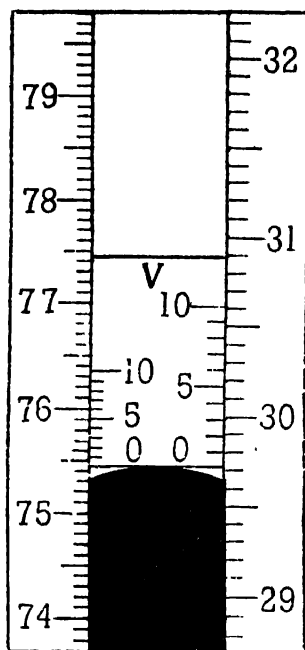
ইহা একটি উন্নত ধরনের ব্যারোমিটার। ইহার সাহায্যে বাতাসের চাপ সূক্ষ্মভাবে মাপা যায়। ইহার কাচের নলটি পারদে পূর্ণ করিয়া D পাত্রের পারদে উপুড় করিয়া ডুবাইয়া দেওয়া হইয়াছে। নলের উপরের প্রান্ত বন্ধ। পারদস্তম্ভের উপরিতল নামিয়া C স্থানে দাঁড়াইল। নলটি নীচের দিকে ৬৮নং চিত্রে প্রদর্শিত B বিন্দুর উপরে আংটির আকারের একটি চামড়ার গদির উপর বসান থাকে। ঐ চামড়ার গদির মধ্যে (৬৯নং চিত্রে প্রদর্শিত) গোলাকার ছোট ছোট ছিদ্রপথে বাহিরের বায়ুর সহিত ভিতরের বায়ুর যোগাযোগ হয়। নলটির যেখানে পারদস্তম্ভ সাধারণত দাঁড়ায় তাহার দুই পাশে দুইটি স্কেল কিছুদূর পর্যন্ত দেওয়া থাকে, একটি ইঞ্চিতে এবং অপরটি সেন্টিমিটারে। P চিহ্নিত আইভরির পিনটি স্থির থাকিয়া স্কেল দুইটির আরম্ভ নির্দেশ করে। পিনটির সূক্ষ্ম প্রান্ত ইঞ্চি ও সে. মি. উভয় স্কেলেরই শূন্য দাগ। স্কেল দুইটির মাঝখানে নলের উপর দিয়া V ভার্নিয়ারটিকে S_1 স্ক্রুর সাহায্যে উঠানামা করান যায়। ব্যারোমিটারের নিম্নপ্রান্তে D পাত্রটির মধ্যে পারদ রহিয়াছে। পাত্রের নিম্নতল (৬৯নং চিত্রের L) শ্যাময়চর্ম (Chamois leather) দ্বারা প্রস্তুত এবং S_2 স্ক্রু ঘুরাইয়া উহাকে উঠানো নামানো যায়। সমগ্র যন্ত্রটি একটি শক্ত কাঠের বা ধাতুর কাঠামোর মধ্যে থাকে এবং একটি আংটার সাহায্যে দেওয়ালে লম্বভাবে ঝুলাইয়া রাখা হয়। কোনও কোনও যন্ত্রে কাঁচের নলটিকে বাহিরের আঘাত হইতে রক্ষা করিবার জন্য পিতলের নল দ্বারা ঢাকিয়া রাখা হয়। কেবল পারদস্তম্ভের উপরিতলের কাছে কিছু অংশ খোলা থাকে যাহাতে পারদতলের অবস্থান দেখিয়া পারদস্তম্ভের উচ্চতা মাপা যায়।

৬৮নং চিত্র : ফর্টিনের চাপমান যন্ত্র

ফর্টিনের চাপমান যন্ত্রের পাঠ-গ্রহণ

[Reading a Fortin's Barometer]

প্রথমে ব্যারোমিটারের স্কেলের শূন্য দাগ সংস্থাপন (Zero adjustment) করিতে হইবে। P পিনের প্রান্তবিন্দু যদি পাত্রের পারদতলকে ঠিক স্পর্শ না

করিয়া থাকে তাহা হইলে এই সংস্থাপন করা প্রয়োজন। সেরূপক্ষেত্রে S_2 স্ক্রুকে নামাইয়া লইয়া পুনরায় ধীরে ধীরে ঘুরাইয়া ছাগচর্মের সহিত পারদ-

৯নং চিত্র : ফর্টিনের চাপমান যন্ত্রের নিম্নাংশ

১০নং চিত্র : ফর্টিনের চাপমান যন্ত্রে ভার্নিয়ারের অবস্থান

তলকে উপরে তুলিতে হইবে যতক্ষণ না পারদতল P পিনের প্রান্তবিন্দু স্পর্শ করে। তারপর S_1 স্ক্রুকে ঘুরাইতে হইবে যাহাতে ১০নং চিত্রে প্রদর্শিত V ভার্নিয়ারের নিম্নপ্রান্ত পারদস্তম্ভের উত্তল (Convex) উপরিপ্রান্তকে ঠিক স্পর্শকের ন্যায় (tangentially) স্পর্শ করে। এখন সাধারণ নিয়ম অনুসারে ভার্নিয়ারের শূন্যদাগের ঠিক নিম্নের স্কেলের দাগকে স্কেলের পাঠ ধরিতে হইবে এবং ভার্নিয়ারের পাঠ লইতে হইবে। এইবার নিম্নের সূত্র হইতে পারদস্তম্ভের উচ্চতা পাওয়া যাইবে :

মোট পাঠ = স্কেলের পাঠ + ভার্নিয়ারের পাঠ × ভার্নিয়ারাঙ্ক।

উদাহরণ : মনে করা যাক্, কোনও সময়ে একটি ব্যারোমিটারে প্রয়োজনীয় সংস্থাপনের পর ভার্নিয়ারের অবস্থান ১০নং চিত্রের মত হইল।

ইহাতে সেন্টিমিটার স্কেলে মূল স্কেলের পাঠ

= 7·54 সে. মি. ; ভার্নিয়ারের পাঠ = 6

এবং ভার্নিয়ারাঙ্ক = ·01 সে. মি.

সুতরাং, ব্যারোমিটারের পাঠ অর্থাৎ পারদস্তম্ভের উচ্চতা

$$=(75.4+6\times.01) \text{ সে. মি.}$$

$$=\mathbf{75.46} \text{ সে. মি.}$$

বায়ুর স্বাভাবিক চাপ (Normal atmospheric pressure) 76 সে. মি. উচ্চ (0°C উষ্ণতায় ও 45° অক্ষাংশে) পারদস্তম্ভের চাপকে বায়ুর স্বাভাবিক চাপ বলা হয়।

সি. জি. এস. এককে স্বাভাবিক চাপের পরিমাণ

$$=76\times13.6\times981=1.013\times10^{6} \text{ ডাইন প্রতি বর্গ সে. মি.}$$

বার (Bar) **ও মিলিবার** (Millibar)**:** প্রতি বর্গ সেন্টিমিটার 10^{6} ডাইন চাপকে এক বার (Bar) বলা হয় এবং ইহার এক-সহস্রাংশকে এক মিলিবার (Millibar) বলা হয়।

ব্যারোমিটারের ব্যবহার

ব্যারোমিটারের সাহায্যে আবহাওয়ার পূর্বাভাস দেওয়া যাইতে পারে, অর্থাৎ শীঘ্রই ঝড়বৃষ্টি প্রভৃতির সম্ভাবনা আছে কি না বলা যাইতে পারে।

আবহাওয়ার পূর্বাভাস: কোনও স্থানে বায়ুর চাপ যদি হঠাৎ খানিকটা কমিয়া যায়, তাহা হইলে সেখানে নিম্নচাপের সৃষ্টি হইয়াছে বুঝিতে হইবে। কোনও স্থানে নিম্নচাপের সৃষ্টি হইলে উচ্চচাপ অঞ্চল হইতে বায়ু সেই দিকে বেগে ছুটিয়া আসে। তাহার ফলে ঝড় বা সাইক্লোনের সৃষ্টি হয়। সুতরাং, চাপমান যন্ত্রের পারদ হঠাৎ খানিকটা নামিয়া গেলে শীঘ্রই ঝড় উঠিবার সম্ভাবনা আছে বুঝিতে হইবে।

বাতাসে সর্বদাই কিছু জলীয় বাষ্প থাকে। এই জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বাড়ে-কমে। বর্ষাকালে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ খুব বেশী হয়। জলীয় বাষ্প বাতাস অপেক্ষা হালকা। সুতরাং বাতাসে জলীয় বাষ্প যদি বেশী থাকে তাহা হইলে বায়ুস্তরের ওজন অপেক্ষাকৃত কম হয়, কারণ জলকণাগুলি বায়ুকণার স্থান গ্রহণ করে। অতএব বাতাসের আর্দ্রতা বা জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বাড়িলে বাতাসের চাপও কমিয়া যায় এবং পারদস্তম্ভের উচ্চতা কমিয়া যায়। সুতরাং যদি দেখা যায় চাপমান যন্ত্রের পারদস্তম্ভ ধীরে ধীরে নামিয়া আসিতেছে, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে বাতাসের আর্দ্রতা বাড়িতেছে, শীঘ্রই বৃষ্টি হইতে পারে। আবার, বর্ষার দিনে যখন পারদস্তম্ভের উচ্চতা অপেক্ষাকৃত কম আছে, তখন যদি উচ্চতা ধীরে ধীরে বাড়িতে থাকে তাহা হইলে বুঝিতে হইবে বাতাসের আর্দ্রতা কমিয়া আসিতেছে, শীঘ্রই বৃষ্টিবাদল কমিয়া যাইবার সম্ভাবনা।

পারদস্তম্ভের এই যে তারতম্যের কথা বলা হইল ; মনে রাখিতে হইবে ইহা 5/10 মিলিমিটারের মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকে। অর্থাৎ বায়ুর স্বাভাবিক চাপ ভূ-পৃষ্ঠের উপর 760 মিলিমিটার। আবহাওয়ার এই সকল পরিবর্তনের জন্য পারদস্তম্ভ সাধারণত 750 মি. মি. হইতে 760/765 মিলিমিটারের মধ্যেই উঠানামা করে।

উদাহরণ 1 : কোনও সময় পারদ ব্যারোমিটারের উচ্চতা 75 সে. মি. হইলে ঐ সময়ে গ্লিসারিন ব্যারোমিটারের উচ্চতা কত হইবে? পারদ ও গ্লিসারিনের ঘনত্ব যথাক্রমে 13·6 গ্রাম/সি. সি. এবং 1·26 গ্রাম/সি. সি.

গ্লিসারিনের উচ্চতা ও ঘনত্ব h_1 ও d_1 এবং পারদের উচ্চতা ও ঘনত্ব h_2 ও d_2 হইলে, যেহেতু উভয় ব্যারোমিটার একই চাপ নির্দেশ করিতেছে সুতরাং :

$$h_1d_1g = h_2d_2g$$

বা $h_1d_1 = h_2d_2$

বা $h_1 = \frac{h_2d_2}{d_1}$

প্রশ্নানুসারে, $h_2 = 75$ সে. মি.

$d_2 = 13·6$ গ্রাম/সি. সি.

$d_1 = 1·26$ গ্রাম/সি. সি.

$= \frac{75 \times 13·6}{1·26}$ সে. মি. $= 809·5$ সে. মি.

উদাহরণ 2 : ব্যারোমিটারের উচ্চতা পারদের 76 সে. মি. হইলে সমুদ্রের নীচে 100 মিটার গভীরতায় চাপ কত হইবে? পারদ ও সমুদ্রজলের আপেক্ষিক গুরুত্ব যথাক্রমে 13·6 ও 1·03.

সমুদ্রের উপরিতলে বায়ুর চাপ $= 76 \times 13·6 \times 981$ ডাইন/বর্গ সে. মি.

$= 1013000$ ডাইন/বর্গ সে. মি.

এবং $p = hdg$ সূত্রানুযায়ী 100 মিটার গভীরতায় সমুদ্রজলের চাপ

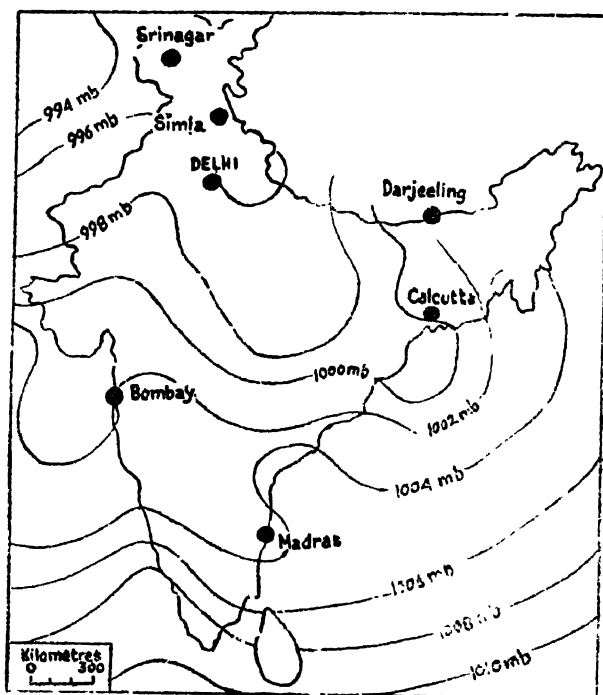
$= 10000 \times 1·03 \times 981$ ডাইন/বর্গ সে. মি.

$= 10104300$ ডাইন/বর্গ সে. মি.

$\therefore$ মোট চাপ $= 103000 + 1014300$ বা 1117300 ডাইন/বর্গ সে. মি.

আবহাওয়ার মানচিত্র
[Weather Maps]

ভূ-পৃষ্ঠের একটি বিস্তীর্ণ অঞ্চল বাছিয়া লইয়া তাহার বিভিন্ন স্থানে কোনও নির্দিষ্ট সময়ে আবহাওয়ার কি অবস্থা তাহা জানিবার জন্য আবহাওয়ার মানচিত্র প্রস্তুত করা হয়। এইজন্য দেশের সর্বত্র যে আবহাওয়া পর্যবেক্ষণ মন্দির (হাওয়া অফিস) আছে, তাহাদের সহযোগিতা আবশ্যক। প্রত্যেক হাওয়া অফিসে প্রতিদিন বিভিন্ন সময়ের বায়ুর চাপ লিখিয়া রাখা হয়। তারপর কোনও নির্দিষ্ট দিনে বিভিন্ন স্থানের বায়ুর চাপের পরিসংখ্যান সংগ্রহ করা হয়, অর্থাৎ সেই সকল স্থানের বায়ুর চাপের পরিমাণকে তালিকাভুক্ত করা হয়। এখন সমগ্র অঞ্চলের একটি বড় মানচিত্র লইয়া উহার উপর সমান চাপবিশিষ্ট অঞ্চলগুলিকে এক-একটি রেখা দ্বারা সংযুক্ত করিলে যে আঁকাবাঁকা রেখাগুলি পাওয়া যায়, উহাদের **সমচাপরেখা** বা **সমপ্রেষরেখা** (Isobars) বলে। গ্রীষ্মকালীন মৌসুমী বায়ুর সময়ে ভারত ও নিকটবর্তী অঞ্চলের একটি সমপ্রেষ মানচিত্র দেওয়া হইল। এই মানচিত্র হইতে মৌসুমী বায়ুর অগ্রগতি, বিভিন্ন স্থানে ঝড়বৃষ্টির সম্ভাবনা প্রভৃতি সম্বন্ধে ধারণা করা যাইতে পারে। যে সকল স্থানে বায়ুর চাপ

কম সেই সকল স্থানে অধিক চাপবিশিষ্ট স্থানসমূহ হইতে বায়ুপ্রবাহ আসিতে পারে এবং বায়ুপ্রবাহ মৌসুমী বায়ু (অর্থাৎ এক্ষেত্রে দক্ষিণ-পশ্চিম হইতে আগত বায়ু) হইলে নিম্নচাপ অঞ্চলে ঝড় ও বৃষ্টি হইতে পারে। নিম্নচাপ অঞ্চলগুলিকে ঘূর্ণবাত

৭১নং চিত্র : জুন মাসের ১৬ই তারিখে ভারত ও নিকটবর্তী অঞ্চলের সমপ্রেষ মানচিত্র

অঞ্চল (Cyclone area) এবং উহার পার্শ্ববর্তী উচ্চচাপ অঞ্চলগুলিকে প্রতীপ ঘূর্ণবাত অঞ্চল (Anticyclone area) বলা হয়।

মানচিত্রের ব্যাখ্যা : প্রত্যেক রেখার উপরে লিখিত সংখ্যাগুলি ঐ রেখার দ্বারা নির্দিষ্ট অঞ্চলের চাপের পরিমাণ নির্দেশ করিতেছে। *mb* অক্ষর দুইটির অর্থ মিলি-বার (millibar)।

সারাংশ

বায়ুর ঘনত্ব খুব কম হইলেও বায়ুমণ্ডল পৃথিবী-পৃষ্ঠ হইতে 200 মাইলেরও অধিক বিস্তৃত। সুতরাং বায়ু চাপ প্রয়োগ করে। ইহার পরিমাণ প্রতি বর্গ-ইঞ্চিতে প্রায় 15 পাউণ্ড। পিচকারি বা শোষক-পাম্পের যে জল উঠে তাহা বায়ুর চাপের জন্য। স্বাভাবিক বায়ুর চাপে প্রায় 34 ফুট জলের স্তম্ভ এবং 30 ইঞ্চি বা 76 সে. মি. পারদস্তম্ভ ধারণ করা যায়।

চাপমান যন্ত্র (Barometer) : বায়ুর চাপে দণ্ডায়মান পারদস্তম্ভের উচ্চতার সহিত বায়ুর চাপ সামানুপাতিক। সুতরাং কাচের নলে দণ্ডায়মান এইরূপ পারদস্তম্ভকে চাপমান যন্ত্র হিসাবে ব্যবহার করা যায়।

আবহাওয়ার পূর্বাভাষ : বায়ুর চাপ হঠাৎ কমিয়া যাওয়া ঝড়ের পূর্বাভাষ এবং ধীরে ধীরে কমিয়া যাওয়া সাধারণত বৃষ্টির পূর্বাভাষ সূচিত করে।

সমচাপরেখা (Isobars) : বৎসরের কোনও সময়ে কোনও বিস্তীর্ণ অঞ্চলের বিভিন্ন স্থানের বায়ুর চাপ মাপিয়া সমান চাপবিশিষ্ট স্থানগুলি মানচিত্রের উপর যোগ করিয়া দিলে সমচাপরেখাগুলি পাওয়া যায়। উচ্চচাপ অঞ্চল হইতে নিম্নচাপ অঞ্চলের দিকে বায়ু প্রবাহিত হয়।

অনুশীলনী

1. *Describe two simple experiments which illustrate the existence of atmospheric pressure.*

2. *Describe Guericke's experiment.*

3. *How does water rise in a suction pump? How far will water rise in a suction pump.? Explain your answer.*

4. *Give an account of Torricelli's experiments on atmospheric pressure.*

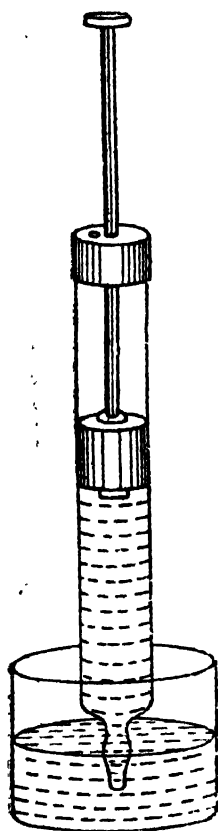
5. *Describe Fortin's Barometer with a diagram and explain its use.*

6. *How is forecasting of weather made with a barometer?*

7. *What are isobars? How is an isobar map prepared? What are its uses?*

কয়েকটি যন্ত্র

বায়ু ও তরল পদার্থের চাপ সম্বন্ধে যে সমস্ত তথ্য আমরা শিখিয়াছি তাহাদের প্রয়োগে প্রস্তুত কয়েকটি নিত্য-প্রয়োজনীয় যন্ত্রের কথা এখানে আলোচনা করা হইবে।

৭২নং চিত্র : পিচকারি

পিচকারি (Syringe) : এই যন্ত্রটির সহিত সকলেরই পরিচয় আছে। ইহাতে একটি সরু ব্যারেল বা চোঙের মধ্যে একটি পিস্টন উঠানামা করে। পিচকারির মুখ জলে ডুবাইয়া পিস্টনদণ্ডটি উপরে টানিলে পিস্টনের নীচে চাপ হ্রাস পায়। সুতরাং বাহিরের বায়ুর চাপে চোঙের মধ্যে জল প্রবেশ করে।

ব্যবহার : কোনও তরলের পাত্রকে না নাড়িয়া উহা হইতে তরল তুলিয়া লওয়া অথবা কোনও তরলকে জোরের সহিত ছিটাইয়া দেওয়া (spraying) প্রভৃতি কাজে পিচকারি ব্যবহৃত হয়। দেহে ইনজেকশন দেওয়া অথবা দেহ হইতে রক্ত প্রভৃতি তরলকে পরীক্ষার জন্য বাহির করিয়া লওয়া প্রভৃতি কাজে চিকিৎসকগণ যে পিচকারি ব্যবহার করেন উহা সাধারণ পিচকারির মতই, কেবল উহার মুখে একটি সূক্ষ্ম নালীযুক্ত সূচ (Hypodermic needle) সংযুক্ত থাকে।

পাম্প

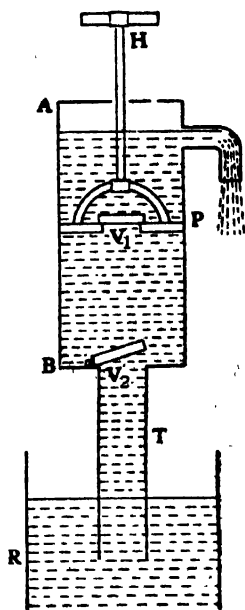
[Pump]

নীচ হইতে উপরে জল তুলিবার জন্য নানা প্রকারের জলের পাম্প ব্যবহার করা হয়। এই রকম তিনটি পাম্প সম্বন্ধে এখানে আলোচনা করা হইবে।

সাধারণ জল-শোষক পাম্প

[Common Suction Pump]

এই পাম্পে AB একটি ধাতুনির্মিত মোটা নল বা **ব্যারেল**। ইহার মধ্যে একটি পিস্টন P উঠানামা করে। পিস্টনের সহিত এবং ব্যারেলের নিম্নে যথাক্রমে V_1 ও V_2 দুইটি ভাল্‌ভ বা একমুখী কপাট আছে। ইহারা কেবল উপরের দিকে খোলে। T নলের সাহায্যে ব্যারেলটি R জলাধারের সহিত সংযুক্ত। ব্যারেলের উপরিভাগে S নলটি হইতে জল বাহির হয়।

কার্যপ্রণালী : প্রথমে মনে করা যাক্, ব্যারেল ও নল জলশূন্য আছে, এবং পিস্টন ব্যারেলের সর্বনিম্ন স্থান B-এর সহিত সংলগ্ন আছে। এখন H হাতলের সাহায্যে পিস্টনকে উপরে তুলিলে V_1 ভালভ্ উপরের বায়ুর চাপে বন্ধ থাকিবে, কিন্তু V_2 ভালভের উপর চাপ হ্রাস পাওয়ায় নীচের বায়ুর চাপে V_2 খুলিয়া যাইবে। এখন সমগ্র যন্ত্রটি পিচকারির ন্যায় কাজ করিবে এবং জলাধার হইতে জল নল বাহিয়া ব্যারেলে প্রবেশ করিবে। এইবার পিস্টনকে ঠেলিয়া নীচে নামাইলে ব্যারেলের ভিতরের বায়ুও জলের চাপে V_1 খুলিয়া যাইবে এবং পিস্টনটি ব্যারেলের জলের ভিতর দিয়া নীচে নামিবে। কিন্তু V_2 উহার উপরের জলের চাপে বন্ধ থাকিবে। এইরূপে পিস্টনকে ব্যারেলের নিম্নতম স্থান B বিন্দু পর্যন্ত নামাইয়া আবার উপরের দিকে উঠানো শুরু হইল। এইবার উপরের জলের চাপে V_1 বন্ধ হইল এবং V_2 ও V_1-এর মধ্যবর্তী স্থানে চাপ হ্রাস পাওয়ায় V_2 কপাট খুলিয়া আবার পিস্টনের নীচে জল উঠিতে লাগিল পিস্টনের উপরের জল S নলের পথে বাহিরে পড়িতে লাগিল। এইভাবে শোষক-পাম্পের কাজ চলিতে থাকে।

৭৩নং চিত্র : জল-শোষক পাম্প

শোষক-পাম্পের সীমাবদ্ধতা (Limitation) **:** শোষক-পাম্পের সাহায্যে যতদূর ইচ্ছা উচ্চে জল তোলা সম্ভব নহে। কারণ শোষক-পাম্পে বায়ুর চাপের দ্বারা ব্যারেলে জল উঠে এবং এইভাবে 34 ফুটের উর্ধ্বে জল তোলা সম্ভব নয়। সুতরাং R জলাধারের জলের উপরিতল হইতে V_2 ভাল্ভের উচ্চতা 34 ফুটের কম হওয়া উচিত। প্রকৃতপক্ষে পাম্প সম্পূর্ণ বায়ু নিরুদ্ধ না হওয়ায় ও অন্যান্য ত্রুটির জন্য এই উচ্চতা 34 ফুটেরও কম হয়। বাস্তবক্ষেত্রে ইহা 24/25 ফুট হইয়া থাকে।

উত্তোলক পাম্প

[Lift Pump]

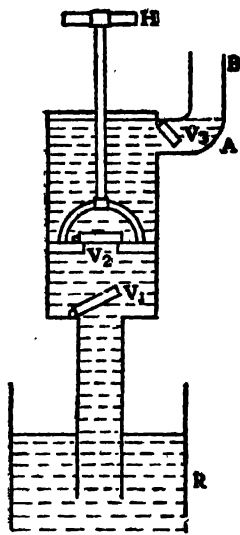
ইহার গঠন শোষক পাম্পের মতো। কেবল AB নলটির মুখে আর একটি ভালভ্ V_3 আছে এবং নলটি উপরের দিকে উঠিয়া গিয়াছে। পিস্টনকে উপরে তুলিলে V_3 কপাট খুলিয়া নলের পথে জল উপরে উঠে। কিন্তু পিস্টন নামাইবার সময় AB নলের চাপে V_3 বন্ধ হইয়া যায় সুতরাং নলের জল ব্যারেলে প্রবেশ করিতে পারে না। বারে বারে পিস্টন উপরে টানিয়া নলের পথে অনেক উচ্চে তোলা যায়।

ব্যবহার : বাড়ির তিন-চার তলার উপরে জল তুলিতে এইরূপ পাম্প ব্যবহার করা যায়।

৭৪নং চিত্র : উত্তোলক পাম্প

সীমাবদ্ধতা : এইরূপ পাম্পেও অবশ্য V_1 হইতে জলাধারের জল পর্যন্ত উচ্চতা 34 ফুটের কম হওয়া আবশ্যক। কিন্তু B নলের সাহায্যে জল 34 ফুটেরও বেশী উচ্চতায় তোলা যায়। পাম্পের হাতলের উপর প্রযুক্ত বল ও V_3 ভালভের ধারণ-ক্ষমতার উপর এই উচ্চতা নির্ভর করে।

ফোর্স পাম্প
[Force Pump]

এই পাম্পে পিস্টনের সহিত কোনও ভালভ্ থাকে না। তাহার পরিবর্তে ব্যারেলের নিম্নভাগ হইতে T নলটি বাহির হইয়া উপরে উঠিয়া যায়। ঐ নলের প্রবেশপথে V_1 ভালভ্‌টি কেবল বাহিরের দিকে এবং ব্যারেলের নীচে V_2 ভালভ্‌টি কেবল উপরের দিকে খোলে।

কার্যপ্রণালী : পিস্টন P-কে উপরে তুলিলে V_1 ভালভ্ T নলের বায়ু বা জলের চাপে বন্ধ থাকে, কিন্তু V_2 ভালভের উপরে চাপ হ্রাস পাওয়ায় উহা খুলিয়া যায়। সুতরাং জলাধার হইতে V_2 ভালভের পথে জল ব্যারেলে প্রবেশ করে। তারপর পিস্টন নীচে নামাইলে উপরের চাপে V_2 বন্ধ হয়, কিন্তু ব্যারেলের ভিতরে চাপ বৃদ্ধি পাওয়াও V_1 খুলিয়া যায় এবং T নলের পথে ব্যারেলের জল জোরে উপরে উঠে। আবার কোনও কোনও পাম্পে T নলের শেষে মুখ দিয়া জল বেগে বাহির হয়। পিস্টনকে যথাসম্ভব নীচে নামাইয়া আবার উপরে তোলা হয়। এইরূপে পাম্পের কাজ চলিতে থাকে।

৭৫নং চিত্র : বলপাম্প

সীমাবদ্ধতা : ফোর্স পাম্পে V_2 ভাল্‌ভ হইতে জলাধারের জলের দূরত্ব অবশ্যই 34 ফুটের কম হওয়া প্রয়োজন। কিন্তু T নলের পথে যত উর্ধ্বে ইচ্ছা জল তোলা যাইতে পারে। পিস্টনের উপর যত জোরে বল প্রয়োগ করা সম্ভব তত উচ্চে এই পাম্পের দ্বারা জল তোলা যাইতে পারে।

ব্যবহার : আগুন নিভান, জল বা অন্য কোনও তরল বিস্তৃত জায়গায় ছিটান (spraying) প্রভৃতি কাজে এই পাম্প ব্যবহার করা হয়।

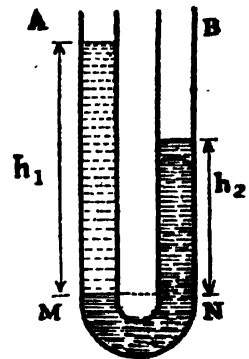
ইউ-নল ও হেয়ারের যন্ত্র

[U-Tube and Hare's Apparatus]

দুইটি তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব বা ঘনত্বের তুলনা করিবার জন্য এই যন্ত্র দুইটি পরীক্ষাগারে ব্যবহৃত হয়।

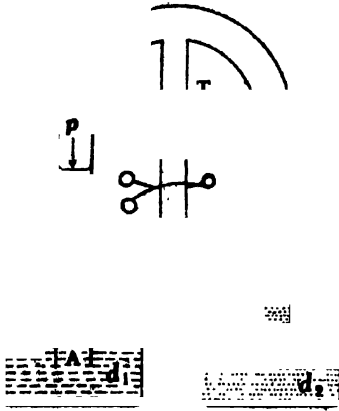
ইউ নল (U-Tube) **:** ইংরেজী U অক্ষরের আকৃতিবিশিষ্ট একটি কাচের নল লওয়া হইল। AM ও BN ইহার দুইটি অংশ। এখন এমন দুইটি তরল পদার্থ লইতে হইবে যাহারা পরস্পর মিশিবে না (যেমন, জল ও সরিষার তৈল)। উহাদের একটির দ্বারা নলটির তলদেশ কিছুদূর পর্যন্ত পূর্ণ করা হইল। এখন অপর তরলটি কিছু পরিমাণে নলের এক অংশে ঢালিয়া দেওয়া হইল। দেখা যাইবে দুইটি তরল পদার্থ বিভিন্ন উচ্চতায় অবস্থান করিতেছে। মনে করা যাক্, উহারা M স্থানে পরস্পরকে স্পর্শ করিয়াছে এবং BN অংশের N বিন্দু M-এর সহিত অনুভূমিক তলে অবস্থিত। মনে করা যাক্, M ও N বিন্দু দুইটির উপর দুইটি তরলস্তম্ভের উচ্চতা যথাক্রমে h_1 ও h_2. এখন তরল দুইটির ঘনত্ব যদি যথাক্রমে d_1 ও d_2 একক হয়, তাহা হইলে M বিন্দুর উপর প্রথম তরলের চাপ $=h_1d_1\ g$ এবং N বিন্দুর উপর দ্বিতীয় তরলের চাপ $=h_2d_2g$। কিন্তু কোনও পাত্রে স্থির তরলের একই অনুভূমিক তরলের চাপ সর্বত্র সমান,

৭৬নং চিত্র : ইউ-নল

$$\text{সুতরাং, } h_1d_1g=h_2d\ g$$

$$\therefore\ \frac{d_1}{d_2}=\frac{h_2}{h_1}$$

অর্থাৎ, তরল দুইটির ঘনত্ব উহাদের উচ্চতার সহিত ব্যস্ত অনুপাতী। এই পরীক্ষার সাহায্যে দুইটি তরলের ঘনত্বের তুলনা এবং একটির ঘনত্ব জানা থাকিলে অপরটির ঘনত্ব নির্ণয় করা যায়।

হেয়ারের যন্ত্র (Hare's Apparatus) **:** ইহাকে প্রকৃতপক্ষে উলটা করিয়া রাখা ইউ-নল বলা যাইতে পারে। ইহার দুইটি মুখ দুইটি বিভিন্ন তরলে ডুবাইয়া রাখা হয়। ইউ-নলটির মাঝখানে T শাখা-নলটি R রবারের নলের সহিত সংযুক্ত। রবারের নলের সাহায্যে মুখ দিয়া ইউ-নলের বায়ু শোষণ করিলে উপরের চাপ কমিয়া যাওয়ায় উভয় নলে নীচের পাত্র হইতে তরল পদার্থ উপরে উঠিবে। তরল পদার্থদ্বয়কে যে কোনও উচ্চতায় উঠাইয়া C চিমটাটি দ্বারা নলের মুখ বন্ধ করিয়া দিলে তরলস্তম্ভ দুইটি দাঁড়াইয়া থাকিবে। এই

অবস্থায় ইউ-নলের উপরের অংশে বায়ুর চাপ সর্বত্র সমান। মনে করা যাক, এই চাপ $=p$.

১১নং চিত্র : হেয়ারের যন্ত্র

এখন দুইটি তরলের ঘনত্ব যথাক্রমে d_1 এবং d_2 একক হইলে, প্রথম নলে A বিন্দুর উপর মোট চাপ $=p+h_1d_1g$

এবং দ্বিতীয় নলে B বিন্দুর উপর মোট চাপ $=p+h_2d_2g$

কিন্তু A ও B বিন্দু দুইটি উভয় পাত্রে নলের বাহিরের উন্মুক্ত তলের সহিত একই অনুভূমিক তলে অবস্থিত। অতএব উন্মুক্ত তলের উপরের চাপের সহিত A ও B বিন্দুর চাপ সমান। কিন্তু উভয় পাত্রের তরলের উন্মুক্ত তলেই বায়ুর চাপ P ক্রিয়া করিতেছে। অতএব A ও B বিন্দুর চাপও P. অর্থাৎ,

$$P=p+h_1d_1g=p+h_2d_2g$$

অথবা, $h_1d_1=h_2d_2$

$$\frac{d_2}{d_1}=\frac{h_1}{h_2}$$

সুতরাং এই পরীক্ষার সাহায্যেও দুইটি তরলের ঘনত্বের তুলনা এবং একটি তরলের ঘনত্ব দেওয়া থাকিলে অপর তরলের ঘনত্ব নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ : একটি হেয়ারের যন্ত্রে দুইটি তরলের উচ্চতা যথাক্রমে 25 সে.মি. এবং 20 সে. মি.। উহাদের ঘনত্বের তুলনা কর। প্রথম তরলটি জল হইলে, দ্বিতীয়টির ঘনত্ব কত ?

এখানে $h_1=25$ সে. মি.
$h_2=20$ সে. মি.

অতএব $\frac{d_2}{d_1}=\frac{h_1}{h_2}=\frac{25}{20}=\frac{5}{4}$

অর্থাৎ তরল দুইটির ঘনত্বের অনুপাত $=5:4$

দ্বিতীয়ত, জলের ঘনত্ব = প্রতি সি. সি.-তে 1 গ্রাম

সুতরাং দ্বিতীয় তরলের ঘনত্ব, $d_2=d_1\times\frac{h_1}{h_2}$

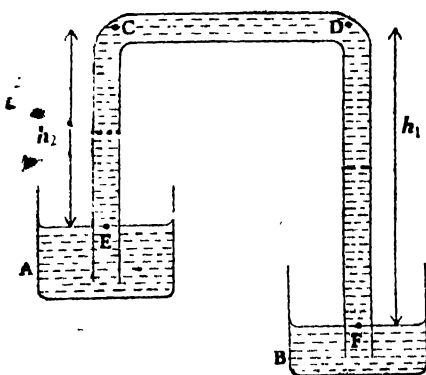
$=$ প্রতি সি. সি.-তে $\frac{1\times25}{20}$ গ্রাম

$=$ প্রতি সি. সি.-তে 1.25 গ্রাম।

সাইফন

[Siphon]

বায়ুর চাপকে কাজে লাগাইয়া এক পাত্র হইতে অন্যপাত্রে কোনও তরলকে স্থানান্তরিত করিবার জন্য সাইফন ব্যবহৃত হয়।

A ও B দুইটি পাত্রের A পাত্রে কোনও তরল আছে। উহা হইতে B পাত্রে তরলকে অপসারিত করিতে হইবে। ইহা একটি নলের সাহায্যে সহজে করা যাইতে পারে। একটি বড় রবারের অথবা ইউ অক্ষরের মতো বাঁকা ধাতুনির্মিত বা কাচের নল লওয়া হইল। নলটি ঐ তরলে পূর্ণ করিয়া আঙুল দিয়া দুই মুখ বন্ধ করিয়া নলটি উপুড় করিয়া একটি মুখ A পাত্রের তরলে ডুবাইয়া অপর মুখ B পাত্রের মধ্যে রাখা হইল। এখন দুইটি নলের মুখ খুলিয়া দিলে A পাত্র হইতে তরল উঠিয়া নলের মুখ B পাত্রে গিয়া জমা হইতে থাকিবে। যতক্ষণ উভয় পাত্রের তরল এক অনুভূমিক তলে না আসে ততক্ষণ তরল অপসারিত হইবে। এই সহজ যন্ত্রটিকে **সাইফন** বলে।

৭৮নং চিত্র : সাইফন

E ও F বিন্দু যথাক্রমে A ও B পাত্রে বাহিরের তলের সহিত একই অনুভূমিক তলে অবস্থিত। অতএব E ও F উভয় বিন্দুর চাপের পরিমাণই বায়ুমণ্ডলের চাপের সহিত সমান। মনে করা যাক, বায়ুমণ্ডলের চাপ = P এবং তরলের ঘনত্ব = d একক।

এখন C বিন্দুতে তরলের চাপ = p_2 হইলে,

E বিন্দুর চাপ = $p_2 + h_2 d\,g = $ P

অনুরূপভাবে D বিন্দুতে তরলের চাপ = p_1 হইলে,

F বিন্দুর চাপ = $p_1 + h_1 d\,g = $ P

সুতরাং $p_1 + h_1 d\,g = p_2 + h_2 d\,g$

অতএব যতক্ষণ $h_1 > h_2$ থাকিবে অর্থাৎ $h_1 dg > h_2 dg$ থাকিবে

ততক্ষণ $p_2 > p_1$ হইবে,

অর্থাৎ C বিন্দুতে তরলের চাপ D বিন্দুর চাপ হইতে বেশী হইবে।

সুতরাং তরলপদার্থ অধিকচাপ অঞ্চল হইতে অল্পচাপ অঞ্চলের দিকে প্রবাহিত হইবে। তাহার ফলে C বিন্দুর কাছে যে শূন্যতার সৃষ্টি হইবে তাহা পূরণ

করিবার জন্য A পাত্র হইতে জল উঠিবে। এইভাবে A পাত্রের তরল প্রায় সম্পূর্ণভাবে B পাত্রে স্থানান্তরিত করা যায়।

সাইফন কার্যকর থাকিবার শর্ত (Conditions of working of a Siphon): সাইফনকে কার্যকর রাখিতে হইলে নিম্নলিখিত শর্তগুলির প্রত্যেকটি পূরণ হওয়া প্রয়োজন। ইহাদের যে কোনও একটির অভাব হইলেই সাইফন অচল হইয়া যাইবে:

1. বায়ুশূন্যস্থানে (যথা—নিষ্কাশন পাম্পের বায়ুশূন্য প্রকোষ্ঠে) সাইফন কার্যকর হইবে না। কারণ বায়ুর চাপই তরলকে উপরে তুলিয়া থাকে।

2. A পাত্রে তরলের উপরের উচ্চতা (অর্থাৎ h_2) বায়ুমণ্ডলের চাপে ঐ তরলের স্তম্ভ যতটা উচ্চ দাঁড়ায় তাহার বেশী হইলে চলিবে না।

3. A ও B পাত্রে তরলের তল দুইটির মধ্যে B পাত্রের তল নীচে থাকা প্রয়োজন। অর্থাৎ ৬৮নং চিত্রে $h_1 > h_2$ হওয়া প্রয়োজন।

গ্যাসের উপর চাপের ক্রিয়া

[Pressure in gases]

বয়েলের সূত্র

[Boyle's Law]

অক্সিজেন, নাইট্রোজেন, বায়ু প্রভৃতি গ্যাসের সংনম্যতা (compressibility) খুব বেশী। অর্থাৎ চাপ প্রয়োগ করিয়া ইহাদের আয়তন বহুল পরিমাণে হ্রাস করা যায়।

চাপ পরিবর্তনের দ্বারা গ্যাসের আয়তন পরিবর্তন সম্বন্ধে রবার্ট বয়েল একটি সূত্র আবিষ্কার করেন। ইহাকে বয়েলের সূত্র বলে। সূত্রটি এইরূপ: **নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনও নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট গ্যাসের আয়তন উহার উপর চাপের সহিত ব্যস্ত অনুপাতে** (Inverse ratio) **পরিবর্তিত হয়।** অর্থাৎ গ্যাসের চাপ দ্বিগুণ করিলে আয়তন অর্ধেক হইবে, চাপ তিনগুণ করিলে আয়তন একতৃতীয়াংশ হইবে, আবার চাপ অর্ধেক হইলে আয়তন দ্বিগুণ হইবে ইত্যাদি।

মনে করা যাক্, কোনও পাত্রে আবদ্ধ নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট গ্যাসের চাপ P এবং আয়তন V,

গাণিতিক ভাষায় বয়েলের সূত্রকে নিম্নলিখিতরূপে প্রকাশ করা যায়:

$$P \propto \frac{1}{V}, \text{ যখন তাপমাত্রা নির্দিষ্ট}$$

$$\text{অর্থাৎ, } P = K.\frac{1}{V} \text{ যখন K একটি ধ্রুবক}$$

$$\therefore PV = K = \text{ধ্রুবক}$$

বয়েল সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা

[Experimental verification of Boyle's Law]

যন্ত্রের বর্ণনা : AC একটি কাচের নল, ইহার A প্রান্ত বন্ধ এবং C প্রান্ত খোলা। C প্রান্তের সহিত একটি মোটা রবারের নল CDE সংযুক্ত আছে। আবার উহার E প্রান্তে EG দুই মুখ খোলা কাচের নলটি সংযুক্ত আছে। AB অংশ বায়ু দ্বারা এবং BDF অংশ পারদ দ্বারা পূর্ণ আছে। একটি লম্বা কাঠের ফ্রেমে দুইটি সমান্তরাল খঁজের উপর AC ও EG নল দুইটিকে ইচ্ছামতো সরানো এবং স্ক্রু দ্বারা যে কোনও স্থানে আঁটিয়া দেওয়া যায়। SS স্কেলটি উহাদের সহিত সমান্তরালভাবে মাঝখানে আছে।

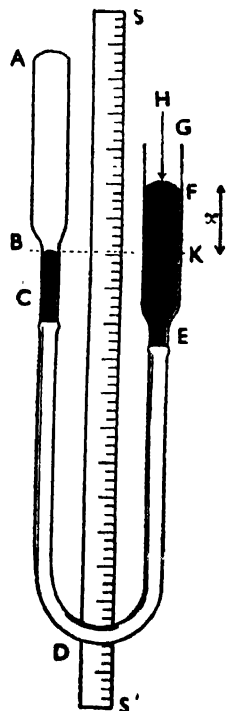
৭৯নং চিত্র :

প্রণালী : GE নলটিকে উঠাইয়া বা নামাইয়া AC নলের মধ্যে বায়ুর চাপ প্রয়োজনমতো পরিবর্তন করা হয়। GE নলটি চিত্রের মতো অবস্থানে থাকিলে, AC নলের ভিতর বায়ুর চাপ

P = পারদস্তম্ভের B প্রান্তে চাপ

= B এর সহিত অনুভূমিক তলে অবস্থিত K বিন্দুর চাপ

= F বিন্দুর চাপ + FK পারদস্তম্ভের চাপ

= পারদের $(H+x)$ সে. মি. [ব্যারোমিটারের উচ্চতা পারদের H সে. মি. এবং FK = x সে. মি. হইলে।]

এখন AB অংশের বায়ুর আয়তন V*c.c.* হইলে, $PV=(H+x)\,V$ হইবে।

GE নলের পারদশীর্ষ AC নলের পারদশীর্ষ অপেক্ষা x সে. মি. নীচে থাকিলে AC নলে বায়ুর চাপ $(H-x)$ হইবে। সেক্ষেত্রে $PV=(H-x)\,V$ হইবে।

GE নলকে উঠাইয়া নামাইয়া P ও Vএর বিভিন্ন মান লইলে প্রত্যেক ক্ষেত্রে PVএর মান প্রায় একই পাওয়া যাইবে। লব্ধ ফল দ্বারা বয়েল সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হইবে।

উদাহরণ 1 : একটি সিলিণ্ডারে 2 লিটার বায়ু বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপে আছে। উষ্ণতা স্থির রাখিয়া বায়ুর চাপ পারদের 95 সে. মি. করা হইল। বায়ুর আয়তন কত হইবে ?

বয়েল সূত্র অনুসারে $P_1 V_1 = P_2 V_2$

এখানে $P_1 = 76$ সে. মি. (পারদের)	$P_2 = 95$ সে. মি. পারদের
$V_1 = 2$ লিটার	$V_2 =$ নির্ণেয়

সুতরাং, $76 \times 2 = 95 \times V_2$

বা, $V_2 = \frac{76 \times 2}{95}$ লিটার $= \mathbf{1.6}$ লিটার

উদাহরণ 2 : একটি বেলুনের ভিতর বায়ুমণ্ডলের চাপে 1400 সি. সি. বায়ু ভরিয়া দেওয়ায় বেলুনটির আয়তন 1000 সি. সি. হইল। বায়ুমণ্ডলের চাপ পারদের 75 সি. মি. হইলে, বেলুনের ভিতর বায়ুর চাপ কত ?

প্রশ্নানুসারে, $P_1 = 75$ সে. মি.	$P_2 =$ নির্ণেয়
$V_1 = 1400$ সি. সি.	$V_2 = 1000$ সি. সি.

এখন $P_2 V_2 = P_1 V_1$

সুতরাং, $P_2 \times 1000 = 75 \times 1400$

বা, $P_2 = \frac{75 \times 1400}{1000} = \mathbf{105}$ সে. মি. (পারদের)

উদাহরণ 3 : একটি সুপেয় হ্রদের তলদেশ হইতে মার্শ গ্যাসের বুদ্বুদগুলি উপরে ভাসিয়া উঠিলে উহাদের আয়তন তিনগুণ হয়। বায়ুমণ্ডলের চাপ স্বাভাবিক হইলে জলের গভীরতা কত ?

মনে করা যাক, হ্রদের গভীরতা $= h$ সে. মি.

$\therefore$ হ্রদের জলের চাপ $= hdg$

$= h \times 1 \times g$ ডাইন/বর্গ সে. মি.

এবং বায়ুর চাপ $P = 76 \times 13.6 \times g$ ডাইন/বর্গ সে. মি. (স্বাভাবিক চাপ)

$\therefore$ হ্রদের তলদেশে মোট চাপ $p_1 = (h + 76 \times 13.6)g$ একক

এখন হ্রদের তলদেশে কোনও বুদ্বুদের আয়তন V c.c. হইলে,

প্রশ্নানুসারে, হ্রদের উপর উহার আয়তন $= 3$ V c.c.

এবং „ „ চাপ = বায়ুর চাপ $= 76 \times 13.6 \times g$ একক

$\therefore$ বয়েল সূত্র অনুসারে, $P_1 V_1 = P_2 V_2$

অর্থাৎ, $(h + 76 \times 13.6)\, g \times V = 76 \times 13.6 \times g \times 3V$

বা, $h + 76 \times 13.6 = 3 \times 76 \times 13.6$

বা, $h = 2 \times 76 \times 13.6$ সে. মি.

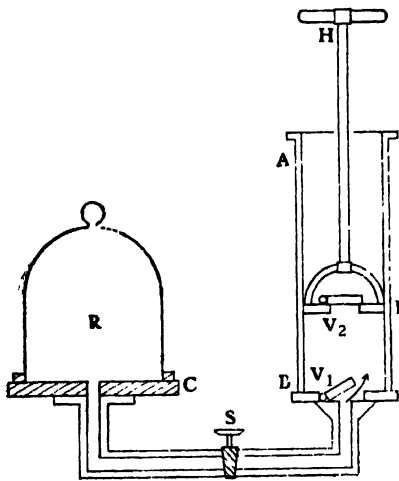
$= \mathbf{2067.2}$ সে. মি.

বাত-পাম্প

[Air Pump]

কোনও বন্ধ পাত্রে বায়ুর চাপ হ্রাস বা বৃদ্ধি করিবার জন্য যে সকল পাম্প ব্যবহৃত হয় তাহাদের **বাত-পাম্প** বলে। গ্যাসের উপর চাপের ক্রিয়া সম্বন্ধে বয়েলের আবিষ্কৃত যে সূত্রের কথা বলা হইল তাহারই উপর বাত-পাম্পগুলির কার্যপ্রণালী নির্ভর করে। বাত-পাম্প দুই প্রকারের: **নিষ্কাশন পাম্প** (Exhaust Pump) ও **সংনমন পাম্প** (Compression Pump)। ইহাদের সম্বন্ধে এখানে আলোচনা করা হইল।

বায়ু নিষ্কাশন পাম্প (Exhaust Pump) : কোনও আধার হইতে বায়ু বাহির করিয়া লইয়া উহার ভিতরে বায়ুর চাপ কমাইবার উদ্দেশ্যে বায়ু নিষ্কাশন পাম্প ব্যবহৃত হয়।

বর্ণনা : C একটি ধাতুনির্মিত ছোট গোলাকার পাটাতন (Platform)। R একটি বড় মোটা কাচের বেল-জার (Bell-jar)। ইহাকে পাম্পের গ্রাহক (Receiver) বলে। গ্রাহকটি গোলাকার পাটাতনের উপর রাখিয়া পাটাতনের সহিত ইহার জোড়ের মুখে বায়ু প্রবেশের পথ বন্ধ করিবার জন্য ভেসলিন দেওয়া থাকে। S স্টপকক্‌যুক্ত একটি নলের সাহায্যে গ্রাহকটি পাম্পের ব্যারেল AB-এর সহিত সংযুক্ত। ব্যারেলের প্রবেশপথে V_1 ভাল্‌ভটি এবং পিস্টনের সহিত সংলগ্ন V_2 ভাল্‌ভটি কেবল উপরের দিকে খোলে।

৮০নং চিত্র : বায়ু নিষ্কাশন পাম্প

কার্যপ্রণালী : S স্টপককটি খুলিয়া H হাতলের দ্বারা পিস্টনদণ্ডটি ব্যারেলের নিম্নপ্রান্ত হইতে উপরে তুলিলে পিস্টনের নীচে চাপ হ্রাস পায় এবং R-এর ভিতরের বায়ুর চাপে V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া যায়, কিন্তু বাহিরের বায়ুর চাপে V_2 বন্ধ থাকে। সুতরাং R হইতে কিছু বাতাস ব্যারেলে প্রবেশ করে। এখন পিস্টন নীচে নামাইলে, V_2 ও V_1-এর মধ্যবর্তী অংশে বায়ুর চাপ বৃদ্ধি পায়। তাহার ফলে V_1 বন্ধ থাকে এবং V_2 খুলিয়া যায়। তারপর পিস্টনকে ব্যারেলের নিম্নপ্রান্তে নামাইয়া আবার উপরে তুলিলে আবার পূর্বের মতো V_2 বন্ধ হয় এবং V_1 খুলিয়া যায়। আবার R হইতে কিছু

বাতাস ব্যারেলে আসে। এইরূপে বারে বারে পিস্টন চালনার দ্বারা R-এর ভিতরের বায়ুর চাপ খুব কমাইয়া দেওয়া হয়।

সীমাবদ্ধতা (Limitation): এই পাম্পের সাহায্যে কখনও সম্পূর্ণ বায়ু নিষ্কাশন করা যায় না। গ্রাহকের ভিতরের চাপ ক্রমশ কমিয়া গিয়া এত কম হইয়া যায় যে তখন আর তাহা V_1 ভাল্‌ভকে খুলিতে পারে না। তখন পাম্প আর বায়ু নিষ্কাশন করিতে পারেনা।

***n*-সংখ্যক ঘাতের পর ভিতরের চাপ** (Pressure after *n* strokes): এক একটি ঘাত (stroke) বলিতে পিস্টনকে একবার নীচে নামানো এবং উপরে তোলা বুঝায়। প্রত্যেক ঘাতের পরে গ্রাহকের ভিতরে বায়ুর চাপ কমিয়া যায়। এইরূপ *n* ঘাতের পর বায়ুর চাপ কত হইবে তাহাই এখানে নির্ণেয়।

মনে করা যাক্:

V = গ্রাহক ও নলসহ ভিতরের বায়ুর আয়তন

v = ব্যারেলের বায়ুর আয়তন।

P = প্রাথমিক অর্থাৎ বায়ুমণ্ডলের চাপ

P_1 = একটি ঘাতের পর গ্রাহকের বায়ুর চাপ।

সুতরাং প্রথমে V আয়তনের বায়ু P চাপে ছিল। পিস্টনকে উপরে তোলায় ঐ বায়ুই R গ্রাহক ও AB ব্যারেলের সম্পূর্ণ স্থান অধিকার করিল। অর্থাৎ এখন আয়তন $(V+v)$ হইল। কিন্তু বায়ুর প্রসারণের ফলে চাপ হ্রাস পাইয়া P_1 হইল।

এখন বয়েল সূত্র অনুসারে PV ধ্রুবক।

সুতরাং, $P_1(V+v)=PV$

বা, $P_1 = \frac{V}{V+v}P \cdots\cdots\cdots(i)$

আবার দ্বিতীয় ঘাতের আরম্ভে চাপ P_1 এবং ভাল্‌ভ V_1 বন্ধ থাকায় আয়তন V, দ্বিতীয় ঘাতের শেষে এই বায়ু প্রসারিত হওয়ায় আয়তন $V+v$ এবং চাপ (মনে করা যাক্) P_2 হইল। সুতরাং আবার পূর্বের মতো বয়েল সূত্র প্রয়োগে:

$$P_2(V+v)=P_1V$$

$$\text{বা, } P_2=\frac{P_1V}{V+v}. =\frac{V}{V+v}\times\frac{V}{V+v}P=\left(\frac{V}{V+v}\right)^2 P$$

$$\left[\text{যেহেতু (i) হইতে } P_1 = \frac{V}{V+v}.P \right]$$

অনুরূপভাবে, $P_8 = P_2 \frac{V}{V+v} = \left(\frac{V}{V+v}\right)^8 . P$; ইত্যাদি

অতএব, n-সংখ্যক ঘাতের শেষে চাপ P_n হইলে ;

$$P_n = \left(\frac{V}{V+v}\right)^n . P$$

উদাহরণ 1 : একটি নিষ্কাশন পাম্পের গ্রাহক ও ব্যারেলের আয়তন যথাক্রমে 10 লিটার ও 1 লিটার। পারদ ব্যারোমিটারের উচ্চতা 75 সে. মি. হইলে ৪টি ঘাতের পর ভিতরে বায়ুর চাপ কত হইবে ?

প্রশ্নানুসারে, $P = 75$ সে. মি.
$n = 8$
$V = 10$ লিটার
$v = 1$,,

অতএব $P_n = \left(\frac{V}{V+v}\right)^n P$ সূত্রে

$$P_8 = \left(\frac{10}{10+1}\right)^8 \times 75$$

$$= \left(\frac{10}{11}\right)^8 \times 75$$

$$\therefore \log P_8 = \log \left\{\left(\frac{10}{11}\right)^8 \times 75\right\} = 8(\log 10 - \log 11) + \log 75$$

$$= 8(1 - 1{\cdot}0414) + 1{\cdot}8751$$

$$= {\cdot}3312 + 1{\cdot}8751 = 1{\cdot}5439 = \log 34\ 98$$

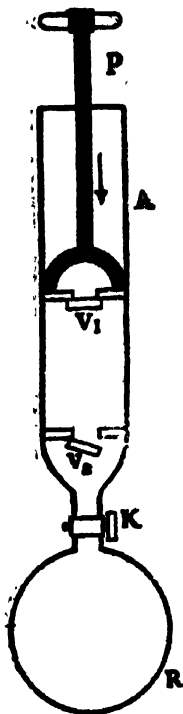
$$\therefore \quad P_8 = 34{\cdot}98 \ ;$$

অর্থাৎ নির্ণেয় চাপ = পারদের 34·98 সে. মি.

সংনমন পাম্প (Compression Pump) **:** কোনও আধারে বায়ুর চাপ বাড়াইবার জন্য এই পাম্প ব্যবহৃত হয়। আমরা পূর্বে বয়েলের সূত্র হইতে দেখিয়াছি বায়ুকে চাপ দিলে তাহার আয়তন হ্রাস পায়। ইহাকে সংনম্যতা (Compressibility) বলে। বায়ুর সংনম্যতা খুব বেশী।

বর্ণনা : সংনমন পাম্পে একটি ব্যারেল ও একটি বায়ুনিরুদ্ধ পিস্টন আছে। ইহার পিস্টনের সহিত V_1 ভাল্‌ভটি এবং প্রবেশপথে V_2 ভাল্‌ভটি সংযুক্ত আছে। উভয় কপাটই নীচের দিকে খোলে। মনে করা যাক্, R পাত্রটিতে বায়ুর চাপ বাড়াইতে হইবে। R-কে নলের সাহায্যে পাম্পের সহিত সংযুক্ত করা হইল।

কার্যপ্রণালী : পিস্টনকে উপরে তুলিলে V_1 ও V_2-এর মধ্যবর্তী অংশে বায়ুর চাপ কমিয়া যায়। R পাত্রের ভিতরের বায়ুর চাপে V_2 ভালভ্ বন্ধ থাকে, কিন্তু উপরের চাপে V_1 খুলিয়া যায় এবং বাহিরের বায়ু ব্যারেলের মধ্যে প্রবেশ

করে। এখন পিস্টনকে যদি নীচে নামান হয় তাহা হইলে পিস্টনের নীচের অংশে বায়ুর আয়তন কমিয়া চাপ বৃদ্ধি পায়। তাহার ফলে V_1 বন্ধ হয়, কিন্তু V_2 খুলিয়া যায় এবং ব্যারেলের বায়ু R পাত্রের মধ্যে প্রবেশ করে। আবার পিস্টন উপরে তুলিলে V_1 খোলে এবং V_2 ভিতরের অধিক চাপে বন্ধ থাকে। এইরূপে পাম্পের কাজ চলিতে থাকে। R পাত্রের মধ্যে বায়ুর চাপের প্রয়োজনীয় পরিমাণ বৃদ্ধি হইলে K চাবিটি বন্ধ করিয়া R-কে পাম্প হইতে বিচ্ছিন্ন করিয়া লওয়া হয়।

৮১নং চিত্র : সংনমন পাম্প

ব্যবহার : ফুটবলের ব্লাডার, মোটরগাড়ি ও সাইকেল প্রভৃতির চাকার টিউবের মধ্যে হাওয়া ভরিবার জন্য এই পাম্প ব্যবহৃত হয়।

***n সংখ্যক ঘাতের পরে বায়ুর ঘনত্ব ও চাপ :**

মনে করা যাক্,

V = গ্রাহকের আয়তন।

D = বায়ুমণ্ডলের বায়ুর ঘনত্ব।

v = ব্যারেলের আয়তন।

প্রথমে গ্রাহকের ভিতরে বায়ুমণ্ডলের চাপে বায়ু আছে। অতএব, তাহার ভর = আয়তন × ঘনত্ব = VD.

এখন পিস্টনকে উপরের প্রান্তে তুলিলে ব্যারেলের ভিতর V_1 ভালভের পথে বাহিরের বায়ু প্রবেশ করিবে। উহারও ঘনত্ব D একক। সুতরাং, উহার ভর vD. এইরূপ প্রত্যেক ঘাতে গ্রাহকের ভিতর vD ভরবিশিষ্ট বায়ু প্রবেশ করিবে। সুতরাং n ঘাতের পর nvD ভরের বায়ু প্রবেশ করিবে।

$\therefore$ n ঘাতের পরে বায়ুর মোট ভর $= VD + nvD$

$= (V + nv)D$

এখন যদি n ঘাতের পরে বায়ুর ঘনত্বকে D_n ধরা যায়, তাহা হইলে, ঐ বায়ুর ভর $= VD_n$.

$$\therefore \quad VD_n = (V + nv)\, D$$

অথবা $$\frac{D_n}{D} = \frac{V + nv}{V} = 1 + n\frac{v}{V}$$

কিন্তু $$\frac{P_n}{P} = \frac{D_n}{D};\ \text{সুতরাং}\ \frac{P_n}{P} = 1 + n\frac{v}{V}$$

বা $$P_n = \left(1 + n\frac{v}{V}\right)P$$

সারাংশ

গ্যাসীয় পদার্থের সংনম্যতা খুব বেশী, অর্থাৎ চাপ প্রয়োগে উহাদের আয়তনকে খুব বেশী সঙ্কুচিত করা যায়। গ্যাসীয় পদার্থের সংনম্যতা বয়েলের সূত্র অনুসরণ করে।

একটি ইউ-নলে (U-tube-এ) দুই প্রকারের তরল রাখিলে এবং উহাদের স্পর্শতল হইতে দুইটি স্তম্ভের উচ্চতা যথাক্রমে h_1 ও h_2 এবং তরল দুইটির ঘনত্ব যথাক্রমে d_1 ও d_2 হইলে, $\frac{d_1}{d_2}=\frac{h_2}{h_1}$ হইবে। হেয়ারের যন্ত্রেও দুইটি বিভিন্ন তরলস্তম্ভের উচ্চতা h_1, h_2 এবং ঘনত্ব d_1, d_2 হইলে, এই সূত্র প্রয়োগ করা যাইবে।

সাইফনে (Siphon-এ) বায়ুর চাপের দ্বারা কোনও তরলকে এক পাত্র হইতে অন্য পাত্রে স্থানান্তরিত করা যায়।

বয়েলের সূত্র (Boyle's Law): নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনও নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট গ্যাসের আয়তন উহার চাপের সহিত ব্যস্ত অনুপাতে পরিবর্তিত হয়। P ও V অক্ষর দ্বারা যথাক্রমে ঐ গ্যাসের চাপ ও আয়তনকে সূচিত করিলে বয়েলের সূত্র PV = **ধ্রুবক** এই সম্বন্ধ দ্বারাও প্রকাশ করা যায়।

নিষ্কাশন পাম্পে n সংখ্যক ঘাতের পর বায়ুর চাপ $P_n=\left(\frac{V}{V+v}\right)^n.P.$

সংনমন পাম্পে n সংখ্যক ঘাতের পর বায়ুর চাপ $P_n=\left(1+n\frac{v}{V}\right).P.$

অনুশীলনী

1. *State Boyle's Law and describe a method for its verification.*

2. *Describe a suction pump with a neat diagram. What is its limitation? Describe any other pump which has no such limitation.*

3. *Describe with a diagram a pump that may be used to raise water to the roof of a 100-feet high building.*

4. *How can the specific gravity of a liquid be determined with a U-tube or a Hare's Apparatus? In a Hare's Apparatus heights of water and kerosene oil columns are 30 c m. and 38·5 c. m. respectively. What is the specific gravity of kerosene oil?* (*Ans.* 0·78)

5. *Describe a siphon and explain its action. What are the conditions that must be satisfied in order that a siphon may work? Explain them.*

6. *Describe an Exhaust Air Pump with a diagram and explain how it works. What is the limitation of the instrument you describe? Calculate the pressure in the receiver after n strokes.*

7. *Describe with a diagram a Compression Pump and explain its action. Calculate the pressure after n strokes in the receiver.*

॥ তাপ ॥

॥ প্রথম অধ্যায় ॥

থার্মোমিতি

[Thermometry]

তাপ কি ?

প্রতিদিনের অভিজ্ঞতা হইতে আমরা জানি, তাপ প্রয়োগের দ্বারা পদার্থের প্রসারণ, উষ্ণতাবৃদ্ধি প্রভৃতি পরিবর্তন হয়। পূর্বে বলা হইয়াছে তাপ এক প্রকারের শক্তি। সুতরাং আমরা বলিতে পারি, **তাপ এক প্রকারের শক্তি যাহা পদার্থের মধ্যে প্রবেশ করিলে পদার্থের প্রসারণ, উষ্ণতাবৃদ্ধি প্রভৃতি পরিবর্তন হইতে দেখা যায়।**

তাপের ক্রিয়া

পদার্থের উপর তাপের বিভিন্ন ক্রিয়ার কথা এখানে সংক্ষেপে আলোচিত হইল :

পদার্থের উষ্ণতাবৃদ্ধি : তাপ প্রয়োগ করিলে পদার্থ গরম হয়। কেটলির জল উনান হইতে তাপ লইয়া গরম হয়। দুপুর বেলা পথঘাট সূর্যের তাপে তাতিয়া উঠে।

প্রসারণ : তাপ প্রয়োগের ফলে সাধারণত কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় (gaseous) সকল পদার্থেরই প্রসারণ বা আয়তন বৃদ্ধি হয়।

গলন : মোম, সীসা প্রভৃতি পদার্থ তাপ পাইলে গলিয়া যায়। এমন কি সোনা, লোহা প্রভৃতি পদার্থও উপযুক্ত উষ্ণতায় উঠিলে গলিয়া যায়।

বাষ্পায়ন (Vaporisation) **:** পদার্থের তরল হইতে বাষ্পে রূপান্তরের নাম বাষ্পায়ণ। বাষ্পায়ণের জন্য সর্বদা তাপের প্রয়োজন হয়।

রাসায়নিক ক্রিয়া : চক-খড়িকে আগুনে পোড়াইলে কার্বনডাই-অক্সাইড্ গ্যাস (Carbon di-oxide) বাহির হইয়া গিয়া চক-খড়ি চুনে পরিণত হয়। ইহা রাসায়নিক পরিবর্তনের একটি উদাহরণ।

দহন (Combustion) **:** কোনও বস্তু জ্বলিতে থাকিলে দহনক্রিয়ার ফলে প্রচুর তাপ উৎপন্ন হয়। **কিন্তু বস্তুটিকে জ্বালাইতে হইলে ঐ বস্তুর পক্ষে নির্দিষ্ট একটি উষ্ণতায় উহাকে প্রথমে তুলিতে হয়। এই উষ্ণতাকে দহনাঙ্ক (Ignition point) বলে।** দহনাঙ্কে তুলিবার জন্য বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করিতে হয়।

আলোক উৎপাদন : আগুন জ্বালিলে আগুনের শিখা হইতে আলো বাহির হয়। বৈদ্যুতিক বাতির ভিতরের সরু তার বা ফিলামেন্ট (filament), গ্যাস বাতির মুখের ম্যান্টল (mantle) প্রভৃতি বেশী উষ্ণতায় উঠিলে ঐ সকল বস্তু হইতে সাদা আলো বাহির হয়।

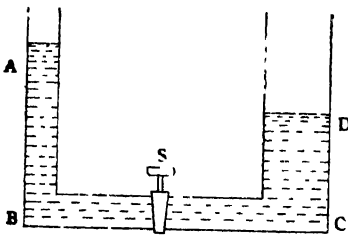
তাপ ও উষ্ণতা

[Heat and Temperature]

তাপ ও উষ্ণতা কথা দুইটির অর্থ এক নয়। তাপ এক প্রকারের শক্তি যাহা পদার্থের উষ্ণতাবৃদ্ধি প্রভৃতি পরিবর্তন ঘটায়। কিন্তু উষ্ণতা বলিতে কোনও বস্তুর তাপীয় অবস্থা (অর্থাৎ বস্তুটি কত গরম বা ঠাণ্ডা তাহা) বুঝায়। দুইটি বস্তুর উষ্ণতা সমান হইলেই উহাদের তাপের পরিমাণ সমান নাও হইতে পারে। যেমন এক কেটলি ও এক কাপ চা একই উষ্ণতায় থাকিলেও কেটলির চা-এর তাপের পরিমাণ অনেক বেশী। আবার দুইটি বস্তুতে সমান তাপ প্রয়োগ করিলে উহাদের উষ্ণতা সর্বদা সমান বৃদ্ধি পায় না। এক কেটলি ও এক বালতি জল পাঁচমিনিট করিয়া উনানের উপর রাখিলে উহাদের মধ্যে সমান পরিমাণে তাপ প্রবেশ করিয়াছে ধরা যায়। কিন্তু উহাদের উষ্ণতাবৃদ্ধি অবশ্যই সমান হয় না। কেটলির জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি বালতির জলের তুলনায় বেশী হয়।

তাপের আদান-প্রদান

[Exchange of Heat]

একটি উষ্ণ ও একটি শীতল বস্তুকে পরস্পর-সংলগ্ন অবস্থায় রাখিলে উষ্ণ বস্তু হইতে শীতল বস্তুতে তাপ প্রবেশ করে। ইহার ফলে উভয়ের উষ্ণতা সমান হয়। তাপের আদান-প্রদানের ইহাই নিয়ম। উচু লেভেল হইতে নীচু লেভেলের দিকে সকল সময়ই তরল পদার্থের প্রবাহ ঘটে। এই প্রবাহের সহিত তাপের আদান-প্রদানের তুলনা করা যায়। ১নং চিত্রে ABCD নলটির AB ও CD অংশ উর্ধ্বাধ এবং BC অংশ অনুভূমিক। S স্টপককটি (stopcock) বন্ধ করিয়া নলটির উভয়

১নং চিত্র : তাপ প্রবাহের তুলনামূলক উদাহরণ

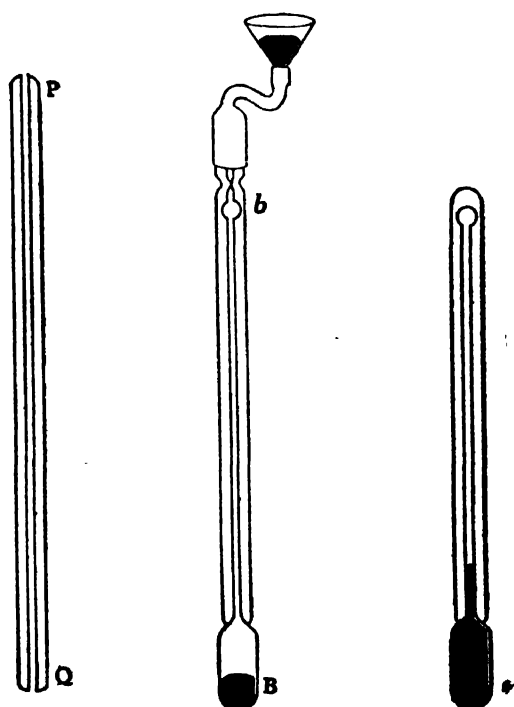
অংশে জল ঢালা হইল যাহাতে AB অংশের জলের লেভেল CD অপেক্ষা বেশী হয়। এখন স্টপককটি খুলিয়া দিলে AB অংশ হইতে CD অংশের দিকে জল প্রবাহিত হইবে। কিন্তু দুইদিকের জলের লেভেল সমান হওয়া মাত্রই প্রবাহ বন্ধ হইবে। তাপের সহিত যদি জলের তুলনা করি তাহা হইলে জলের লেভেলের সহিত উষ্ণতার তুলনা করা যাইতে পারে। এই উদাহরণটিকে তাপ প্রবাহের হাইড্রোষ্ট্যাটিক সাদৃশ্য (Hydrostatic analogy of heat flow) বলে।

থার্মোমিতি

[Thermometry]

উষ্ণতা মাপিবার যন্ত্রকে থার্মোমিটার বলে।

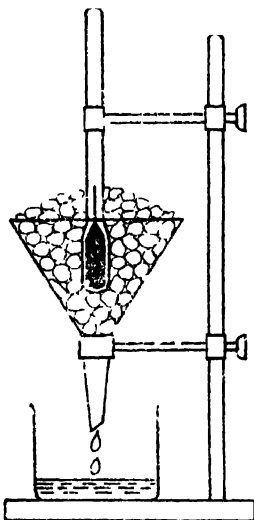
থার্মোমিটার প্রস্তুতের মূলনীতি : উষ্ণতাবৃদ্ধির ফলে পদার্থের যে সকল পরিবর্তন হয় তাহাদের যে কোন একটির সাহায্যে পদার্থের উষ্ণতা মাপা যাইতে পারে। উষ্ণতাবৃদ্ধির ফলে তরল ও গ্যাসীয় পদার্থে প্রসারণের দ্বারা যে সকল থার্মোমিটারে উষ্ণতা মাপা হয় তাহাদের **প্রসারণ থার্মোমিটার** বলা হয়। এখানে কেবল তরল প্রসারণ থার্মোমিটারের বিষয় আলোচিত হইবে। পারদ ও কোহলই (alcohol) সাধারণত থার্মোমিটারে ব্যবহৃত হয়।

একটি সরু দুই-মুখ খোলা কাঁচের নল PQ লওয়া হইল। নলটির ভিতরের নালী আগাগোড়া সমান প্রস্থচ্ছেদযুক্ত হওয়া চাই (২ক নং চিত্র)। নলটির এক প্রান্তের একটু নীচে তাপ প্রয়োগ করিয়া ছোট বাল্‌ব (bulb) *b* তৈয়ারি করা হইল। এই প্রান্তটির মুখ খোলা থাকিবে। তারপর অপর প্রান্তও আগুনে গলাইয়া সেখানে একটু বড় বাল্‌ব B তৈয়ারি করা হইল। এই প্রান্তের মুখ বন্ধ থাকিবে (২খ নং চিত্র)।

২ক নং চিত্র : ২খ নং চিত্র : ২গ নং চিত্র :

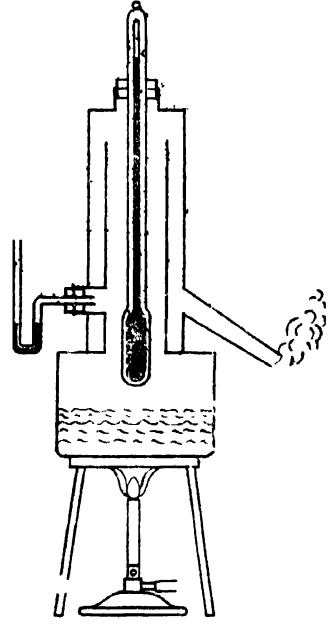
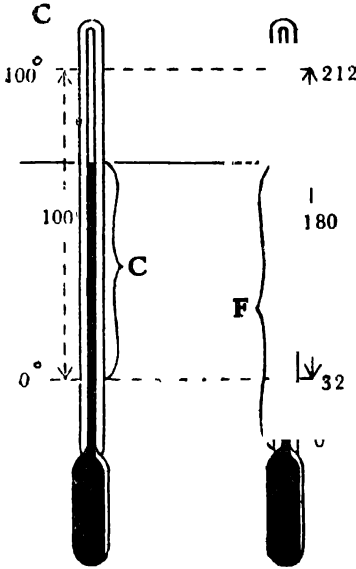
এখন নলের মধ্যে পারদ ভরিতে হইবে। এই উদ্দেশ্যে নলটির খোলা মুখের সহিত একটি ফানেলকে রবারের নলের দ্বারা সংযুক্ত করা হইল। ফানেলের মধ্যে

কিছু পারদ রাখা হইল। প্রথমে ফানেলের নীচে সরু নলের মুখে পারদ নামিবে না। গরম জলে ডুবাইয়া বা অন্য ভাবে নীচের কুণ্ডটির সামান্য তাপ দেওয়া হইল। ভিতরের কিছু বাতাস প্রসারিত হইয়া পারদ ভেদ করিয়া বুদ্বুদের আকারে বাহির হইয়া যাইবে। এইবার বাল্‌বটি ঠাণ্ডা করিলে ভিতরের বাতাস সংকুচিত হইবে এবং শূন্যস্থানে অল্প পারদ প্রবেশ করিবে। এখন বাল্‌বটি আগুনের উপর রাখিয়া পারদকে কিছু সময় ফুটাইলে পারদবাষ্প বাহির হইবে এবং উহা ভিতরের বায়ুকে বাহির করিয়া দিবে এবং পারদবাষ্প ভিতরের স্থান অধিকার করিবে। আবার ঠাণ্ডা করিলে পারদবাষ্প সংকুচিত হইয়া ভিতরে অনেকটা পারদ প্রবেশ করিবে। এখন যে সর্বোচ্চ উষ্ণতা পর্যন্ত থার্মোমিটারটি ব্যবহৃত হইবে তাহার কিছু বেশী উষ্ণতায় পারদকে তুলিলে পারদ প্রসারিত হইয়া সমস্ত নল ও ছোট বাল্‌ব b-কে পূর্ণ করিয়া উপচাইয়া পড়িবে। এই অবস্থায় b-এর ঠিক উপরে নলটি বন্ধ (seal) করিয়া দেওয়া হইবে (২গ নং চিত্র)। ব্যবহারের সময় যদি কখনও থার্মোমিটারটিকে ঐ সর্বোচ্চ উষ্ণতার উপরে তোলা হয় তবে অতিরিক্ত পারদ b বালবে সঞ্চিত হইবে এবং থার্মোমিটারটি ফাটিয়া যাইবে না। এখন কয়েকদিনের জন্য থার্মোমিটারটিকে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় রাখা হয়। ইহার ফলে ব্যবহারের সময় উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য কাঁচের অসমান প্রসারণ হয় না।

পারদ থার্মোমিটার নির্মাণ

স্থিরাঙ্ক নির্ণয় (Determination of fixed points): এইরূপে প্রস্তুত থার্মোমিটারের এখন স্থিরাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে। স্থিরাঙ্ক বলিতে কোনও নির্দিষ্ট উষ্ণতাকে বুঝায়। বরফের গলনাঙ্ককে **নিম্ন স্থিরাঙ্ক** (Lower Fixed Point) এবং বায়ুর স্বাভাবিক চাপে বা 76 সেঃ মিঃ পারদস্তম্ভের চাপে বিশুদ্ধ জলের স্ফুটনাঙ্ককে **ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক** (Upper Fixed Point) ধরা হইয়া থাকে।

৩নং চিত্র :
নিম্নস্থিরাঙ্ক নির্ণয়

নিম্নস্থিরাঙ্ক নির্ণয় : বরফের ছোট ছোট খণ্ড দ্বারা একটি ফানেলকে পূর্ণ করিয়া স্ট্যাণ্ডের উপর বসাইয়া দেওয়া হইল। তারপর পূর্বের তৈয়ারী থার্মোমিটারের বাল্‌বটি ঐ বরফের মধ্যে ডুবাইয়া রাখা হইল। দীর্ঘ সময় এই ভাবে রাখিলে থার্মোমিটারের পারদ বরফের গলনাঙ্কে নামিয়া আসিবে এবং পারদসূত্র সঙ্কুচিত হইয়া একস্থানে স্থির হইয়া থাকিবে। এই অবস্থায় পারদ-সূত্রের উপরের প্রান্তে একটি দাগ কাটা হয়। এই দাগটিই থার্মোমিটারটির নিম্নস্থিরাঙ্ক

ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক নির্ণয়ঃ এই উদ্দেশ্যে হিপসোমিটার (Hypsometer) নামক একটি বিশেষ ধরনের বাষ্পাধার ব্যবহৃত হয়। ইহার মধ্যে থার্মোমিটারটির অধিকাংশ প্রবেশ করাইয়া এমনভাবে রাখা হয় যাহাতে পারদবাল্‌বটি ফুটন্ত জলের কিছু উপরে থাকে।* হিপসোমিটারের একদিকের নল দিয়া জলীয় বাষ্প বাহির হইয়া যায় এবং অপর দিকে একটি ম্যানোমিটার (Manometer) যন্ত্র দ্বারা ভিতরের ও বাহিরের চাপের লক্ষ্য করা হয়। অনেকক্ষণ এইভাবে রাখিলে থার্মোমিটারের পারদ জলের স্ফুটনাঙ্কে উঠিয়া যাইবে এবং পারদ-সূত্র একস্থানে উঠিয়া স্থির হইয়া থাকিবে। এই অবস্থায় পারদ-সূত্রের উপরের প্রান্তে একটি দাগ কাটা হয়। এই দাগটিই থার্মোমিটারটির ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক।

৪নং চিত্র : হিপসোমিটার

৫নং চিত্র : সেণ্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট থার্মোমিটার

মৌলিক ব্যবধান (Fundamental Interval): নিম্ন ও ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্কের মধ্যবর্তী অংশকে থার্মোমিটারের মৌলিক ব্যবধান বলা হয়।

স্কেল-সংযোজন (Graduation): থার্মোমিটারের দুইটী নির্দিষ্ট তাপাঙ্ক স্থির করা হইল। এখন এই স্থিরাঙ্ক দুইটির মধ্যবর্তী অংশকে বা মৌলিক ব্যবধানকে সমান ভাগে ভাগ করিয়া স্কেল সংযোজন করিতে হইবে। পারদ বা অন্য থার্মোমিতীয় তরলের প্রসারণ উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে প্রায় সমানুপাতী। সুতরাং এই রকম স্কেলের সাহায্যে কোনও বস্তুর উষ্ণতাকে পরিমাপ করা যাইবে স্কেল-সংযোজনের বিভিন্ন প্রণালীর মধ্যে দুইটি প্রণালীই

* জলে অন্য পদার্থ মিশ্রিত থাকিলে ঐ জলের স্ফুটনাঙ্ক বিশুদ্ধ জলের স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা সামান্য বেশী হয়। কিন্তু ঐ জলের উপরের বাষ্পের উষ্ণতা বিশুদ্ধ জলের স্ফুটনাঙ্কের সমান হয়।

খুব প্রচলিত : সেণ্টিগ্রেড প্রণালী ও ফারেনহাইট প্রণালী (Centigrade and Fahrenheit Systems)।

সেণ্টিগ্রেড প্রণালী : এই প্রণালীতে নিম্ন ও উর্ধ্ব স্থিরাঙ্কের মধ্যবর্তী অংশকে (বা মৌলিক ব্যবধানকে) 100টি সমান অংশে ভাগ করা হয়। সেণ্টি (Centi) বা 'শত' কথাটি হইতে এই নামকরণ হইয়াছে। এই প্রণালীতে নিম্নস্থিরাঙ্কে 0 (শূন্য) এবং উর্ধ্বস্থিরাঙ্কে 100 লেখা হয় এবং মধ্যবর্তী দাগগুলিকেও তাহাদের স্থানাঙ্ক দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। দুইটি পাশাপাশি দাগের মধ্যবর্তী এক-একটি ঘরকে এক-একটি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড ঘর ধরা হয়।

ফারেনহাইট প্রণালী : ফারেনহাইট নামক বৈজ্ঞানিক এই প্রণালীর প্রবর্তন করেন। এই প্রণালীতে নিম্ন ও উর্ধ্ব স্থিরাঙ্কের মধ্যবর্তী অংশকে (বা মৌলিক ব্যবধানকে) 180টি সমান অংশে ভাগ করা হয়। ইহার প্রতিটি ঘরকে এক ফারেনহাইট ঘর বলা হয়। কিন্তু নিম্নস্থিরাঙ্ককে 0 (শূন্য) দ্বারা চিহ্নিত না করিয়া তাহার নীচে আরও 32 ফারেনহাইট ঘর পর্যন্ত দাগ কাটিয়া গেলে যে দাগে পৌছান যাইবে সেইটিই ফারেনহাইটের শূন্যদাগ। সুতরাং নিম্নস্থিরাঙ্ক ফারেনহাইটের 32 সংখ্যক দাগ হইবে এবং উর্ধ্বস্থিরাঙ্ক হইবে (32+180) বা 212 সংখ্যক দাগ। উর্ধ্ব ও নিম্ন স্থিরাঙ্কের মধ্যবর্তী দাগগুলিকে পড়িবার জন্য মাঝে মাঝে যথাস্থানে 10, 20 প্রভৃতি সংখ্যা লিখিয়া দেওয়া হয়।

উষ্ণতা দেখিবার ও লিখিবার নিয়ম : সেণ্টিগ্রেড থার্মোমিটার কোনও উষ্ণ বস্তুর সংস্পর্শে রাখিলে পারদসূত্রের প্রান্ত যে দাগ পর্যন্ত উঠিবে, সেই দাগের পাশে লিখিত সংখ্যাই ঐ বস্তুর উষ্ণতা। এই রকম দাগের স্থানাঙ্ক (বা পাশে লিখিত সংখ্যা) যদি 50 হয়, তবে ঐ বস্তুর উষ্ণতা 50 ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড বা 50° সে. বা 50°C এইভাবে লেখা হয়। ঠিক সেইরকম ফারেনহাইট থার্মোমিটারের বাল্ব কোনও বস্তুর সংস্পর্শে রাখিলে যদি পারদসূত্রের প্রান্ত 80 দাগের পাশে আসিয়া দাঁড়ায় তাহা হইলে ঐ বস্তুর উষ্ণতা 80 ডিগ্রী ফারেনহাইট হইবে এবং সাধারণত 80° ফা. বা 80°F এইভাবে লেখা হইবে।

দুইটি প্রণালীর সম্বন্ধ : মনে করা যাক, কোনও বস্তুর উষ্ণতা সেণ্টিগ্রেড স্কেলে C° সে. এবং ফারেনহাইট স্কেলে F° ফা. হইল (৫নং চিত্র দেখ)। তাহা হইলে সেণ্টিগ্রেড স্কেলে নিম্নস্থিরাঙ্কের উপর C সেণ্টিগ্রেড ঘর পর্যন্ত পারদসূত্র উঠিয়াছে। কিন্তু ফারেনহাইট স্কেলে নিম্নস্থিরাঙ্ক=32° ফা.। সুতরাং নিম্নস্থিরাঙ্ক হইতে F° ফা. পর্যন্ত মোট (F−32) ফারেনহাইট ঘর আছে।

∴ C সেণ্টিগ্রেড ঘর = F − 32 ফারেনহাইট ঘর ......(i)

আবার অন্যভাবে, ∴ 100 সেণ্টিগ্রেড ঘর = 180 ফারেনহাইট ঘর

∴ 1 „ $= \frac{180}{100}$ বা $\frac{9}{5}$ „ „

∴ C „ $= \frac{9}{5}C$ „ „ ... (ii)

সুতরাং, (i) ও (ii) হইতে : $\frac{9}{5}C = F - 32$

বা $\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9}$

এই সূত্র প্রয়োগ করিয়া কোনও নির্দিষ্ট উষ্ণতাকে এক প্রণালী হইতে অন্য প্রণালীতে প্রকাশ করা যায়। সেইজন্য এই সূত্রের নাম পরিবর্তসূত্র (Conversion Formula)।

সূত্রটিকে এই ভাবেও উল্লেখ করা যায় :

$$\frac{C}{100} = \frac{F-32}{180}$$

উদাহরণ 1 : এক বালতি গরম জলে ফারেনহাইট থার্মোমিটার ডুবাইয়া দেখা গেল জলের উষ্ণতা 140° ফা.। ঐ জলের উষ্ণতা সেন্টিগ্রেড স্কেলে কত ?

$$\frac{C}{100} = \frac{F-32}{180}$$

এখানে $F = 140°$

এবং $C =$ নির্ণেয়

$$\frac{C}{100} = \frac{140-32}{180} = \frac{108}{180}$$

$$C = \frac{108 \times 100}{180} = 60$$

∴ নির্ণেয় উষ্ণতা $= 60°$ সে.

উদাহরণ 2 : একদিনের আবহাওয়ার উষ্ণতা আবহাওয়া সংবাদে 40° সে. বলিয়া উল্লেখ করা হইয়াছে। ঐ উষ্ণতা ফারেনহাইট স্কেলে কত ?

পরিবর্তসূত্রে $C = 40$ লিখিলে, $\frac{40}{100} = \frac{F-32}{180}$

বা $\frac{40}{5} = \frac{F-32}{9}$

বা $5F - 160 = 360$

বা $F = 104$,

সুতরাং, নির্ণেয় তাপাঙ্ক $= 104°$ ফা.

উদাহরণ 3 : আমাদের দেহের স্বাভাবিক উষ্ণতা 98·4° ফা.। ঐ উষ্ণতা সেন্টিগ্রেড তাপাঙ্কে কত ?

পরিবর্তসূত্রে $F = 98{\cdot}4$ বসিবে।

$$\frac{C}{100} = \frac{98{\cdot}4 - 32}{180}$$

বা $\frac{C}{5} = \frac{66{\cdot}4}{9}$

বা $9C = 332$

বা $C = \frac{332}{9} = 36{\cdot}8$ (প্রায়)

∴ নির্ণেয় তাপাঙ্ক $= 36{\cdot}9°$ সে.

উদাহরণ 4 : কোন্ উষ্ণতা সেণ্টিগ্রেড এবং ফারেনহাইট উভয় স্কেলে একই সংখ্যা দ্বারা প্রকাশ করা যায় ?

প্রশ্নানুসারে C=F ; সুতরাং পরিবর্তসূত্রে C-এর বদলে F লিখিলে,

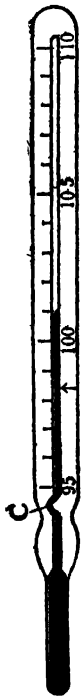
$$\frac{F}{5}=\frac{F-32}{9}$$

বা $9F=5F-160$

বা $4F=-160$; বা $F=-40$

সুতরাং, নির্ণেয় তাপাঙ্ক $=-40°$

বিভিন্ন প্রকারের থার্মোমিটার

দৈহিক উষ্ণতামাপক (Clinical Thermometer) **:** মানুষের দেহের উত্তাপ মাপার জন্য এই থার্মোমিটার নির্মিত। কাঁচের সরু নলে পারদ পুরিয়া এই থার্মোমিটার তৈয়ারি করা হয় এবং ফারেনহাইট স্কেলে ভাগ করা থাকে। মানুষের শরীরের উষ্ণতা 95° ফা. হইতে 110° ফা.-এর মধ্যেই থাকে, সেইজন্য এই থার্মোমিটারে ঐটুকু স্কেলই দেখানো হয়। সুস্থদেহের স্বাভাবিক উষ্ণতা 98°·4 ফারেনহাইটের কাছাকাছি থাকে। সেই কারণে এই থার্মোমিটারে 98°·4 ফা. দাগটি তীরচিহ্ন দ্বারা ভালভাবে চিহ্নিত করা থাকে (৬নং চিত্র)। সাধারণ থার্মোমিটার উষ্ণবস্তুর সংস্পর্শ হইতে বিচ্ছিন্ন করিলে তাহার পারদসূত্র নামিয়া আসে এবং পারদবাল্‌বের চারিদিকে অবস্থিত আবহাওয়ার উষ্ণতা নির্দেশ করে। এই রকম থার্মোমিটার দিয়া রোগীর দেহের উষ্ণতার পরীক্ষা করায় অসুবিধা আছে। সেইজন্য আলোচ্য থার্মোমিটারে পারদবাল্‌বের কিছু উপরে C বিন্দুর কাছে নলটি একটু সরু ও বাঁকা। এই অংশকে ইংরেজীতে বলা হয় Constriction. রোগীর দেহের তাপ পাইয়া পারদ যখন প্রসারিত হয়, তখন পারদসূত্র এই কন্‌স্ট্রিক্‌সান অতিক্রম করিয়া যাইতে পারে। কিন্তু রোগীর দেহ হইতে বিচ্ছিন্ন করিলে যখন পারদ সঙ্কুচিত হয়, তখন C বিন্দুর উপরে প্রসারিত পারদসূত্র ঐ কন্‌স্ট্রিক্‌সান-এর কাছে বাধা পায় এবং পারদবাল্‌বে প্রবেশ করিতে পারে না। ফলে, পারদসূত্রের প্রান্তভাগের অবস্থান হইতে রোগীর দেহের উষ্ণতা মাপা সম্ভব হয়। দ্বিতীয়বার ব্যবহারের আগে থার্মোমিটারটিকে জোরে ঝাঁকাইলে পারদসূত্র কন্‌স্ট্রিক্‌সান পার হইয়া নামিয়া আসে।

৬নং চিত্র : ক্লিনিক্যাল থার্মোমিটার

চরম থার্মোমিটার (Maximum Thermometer) **:** আবহাওয়া সংবাদে কোনও দিনের 24 ঘণ্টা সময়ের চরম (Maximum) বা সর্বোচ্চ এবং অবম (Minimum) বা সর্বনিম্ন উষ্ণতা কত ছিল তাহার উল্লেখ থাকে। এই

উষ্ণতা জানিতে হইলে বিশেষভাবে তৈয়ারী থার্মোমিটার ব্যবহার করা হয়। তাহাদের বলা হয় চরম থার্মোমিটার ও অবম থার্মোমিটার। এখানে যে চরম থার্মোমিটারের বর্ণনা দেওয়া হইল, তাহা রাদারফোর্ড উদ্ভাবন করেন।

৭নং চিত্র : চরম থার্মোমিটার

বাল্‌বযুক্ত নলে পারদ পুরিয়া চরম থার্মোমিটার তৈয়ারি করা হয়। থার্মোমিটারটি একটি কাঠের ফলকে (Frame) সংযুক্ত করিয়া অনুভূমিক অবস্থায় দেওয়ালে ঝুলাইয়া বা টেবিলের উপর রাখিয়া দেওয়া হয়। পারদসূত্রের বাহিরে একটি ইস্পাতের হালকা নির্দেশক (Index) থাকে। নির্দেশকটি ডাম্বেলের আকৃতি-বিশিষ্ট। কোন দিনের চরম উষ্ণতা জানিতে হইলে বাহির হইতে একটি চুম্বকের সাহায্যে নির্দেশকটি আকর্ষণ করিয়া ঠিক পারদসূত্রের উত্তল প্রান্ততলের (Convex meniscus-এর) সঙ্গে স্পর্শ করাইয়া দেওয়া হয়। উষ্ণতাবৃদ্ধি পাইলে পারদ প্রসারিত হয়। হালকা নির্দেশকটি কিন্তু পারদ প্রান্তের তল-আকর্ষণ বা কৈশিকবল * (Surface Tension) ভেদ করিতে পারে না। তাহার ফলে পারদসূত্র প্রসারিত হইলে নির্দেশকটিকেও সঙ্গে সঙ্গে ঠেলিয়া লইয়া যায়। আবার উষ্ণতা কমিলে পারদসূত্র সঙ্কুচিত হইয়া নামিয়া আসে, কিন্তু নির্দেশকটি থাকিয়া যায়। এই রকমে আলোচ্য 24 ঘণ্টায় পারদসূত্র সর্বোচ্চ যে অবস্থানে যায় সেইখানে নির্দেশকটি থাকে এবং নির্দেশকের এই অবস্থান হইতে আলোচ্য 24 ঘণ্টার চরম উষ্ণতা জানিতে পারা যায়।

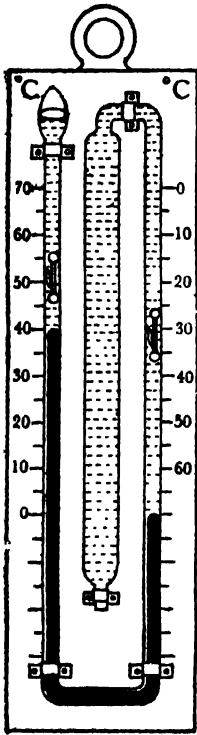
অবম থার্মোমিটার (Minimum Thermcmeter)ঃ এই থার্মোমিটারও চরম থার্মোমিটারের মতো একই মূলনীতির উপর তৈয়ারী। বাল্‌বযুক্ত কাঁচের নলে রঙিন কোহল বা **এলকোহল** পুরিয়া এই থার্মোমিটার তৈয়ারি করা হয়

৮নং চিত্র : অবম থার্মোমিটার

এবং একটি কাঠের ফলকের উপর অনুভূমিক অবস্থায় রাখা হয়। ডাম্বেল-আকৃতি ইস্পাতের হালকা একটি নির্দেশক কোহলের ভিতরে থাকে। ব্যবহারের আগে চুম্বকের সাহায্যে নির্দেশকটি আকর্ষণ করিয়া কোহলের অবতল

*প্রত্যেক তরলের তলে এক রকমের বল কাজ করে যাহার ফলে তরলের তল যেন একটি পাতলা রবারের পরদা দ্বারা ঢাকা আছে বলিয়া মনে হয়। এই বলের জন্যই জলের উপর একটি ছোট সূঁচ সাবধানে ফেলিয়া দিলে উহা ভাসিয়া থাকে। এই বলকে তল-আকর্ষণ বা কৈশিকবল (Surface Tension) বলা হইয়া থাকে।

প্রান্ততলের* (Concave meniscus) সঙ্গে তরলের ভিতরে স্পর্শ করাইয়া দেওয়া হয়। সর্বনিম্ন উষ্ণতায় কোহলসূত্র যেখানে নামে প্রান্ততলের তল-আকর্ষণ নির্দেশকটিকে ঠেলিয়া সেই পর্যন্ত লইয়া যায়। তারপর উষ্ণতা বাড়িলে নির্দেশককে পিছনে রাখিয়া কোহলসূত্র প্রসারিত হয়। সুতরাং নির্দেশকের অবস্থান হইতে আলোচ্য দিনের অবম বা সর্বনিম্ন উষ্ণতা জানিতে পারা যায়। এই থার্মোমিটারটিও রাদারফোর্ড উদ্ভাবন করেন।

সিক্স-এর সম্মিলিত চরম ও অবম থার্মোমিটার (Six's Maximum and Minimum Thermometer): এই থার্মোমিটারের গঠন প্রণালী ৯নং চিত্রটি হইতে বুঝা যাইবে। থার্মোমিটারটি কাঠের ফ্রেমে সংলগ্ন করিয়া উর্ধ্বাধভাবে রাখিয়া দেওয়া হয়। মাঝখানের মোটা নল-আকৃতি বাল্‌ব এবং ডান দিকের নলটির কিছুদূর পর্যন্ত কোহল দিয়া পূর্ণ করা থাকে। চিত্রের ঘনকালো অংশ পারদ দ্বারা পূর্ণ। আবার বাম দিকের অংশে পারদস্তম্ভের উপর হইতে শেষ প্রান্তের ছোট বাল্‌বটির কতকাংশ পর্যন্ত কোহল দিয়া পূর্ণ করা আছে। ছোট বাল্‌বের অবশিষ্ট অংশ কোহলবাষ্পে পূর্ণ থাকে। পারদসূত্রের দুই প্রান্তে দুইটি ছোট ডাম্বেল-আকৃতি ইস্পাতের নির্দেশক আছে। নির্দেশকগুলি যাহাতে নলের গা বাহিয়া নামিয়া না আসে সেইজন্য উহারা নলের দেওয়ালের সঙ্গে ছোট স্প্রিং-এর সাহায্যে সংলগ্ন থাকে।

৯নং চিত্র: সম্মিলিত চরম ও অবম থার্মোমিটার নির্দেশক

কোনও দিনের চরম ও অবম উষ্ণতা এই থার্মোমিটার দিয়া দেখিতে হইলে থার্মোমিটারের নির্দেশক দুইটি চুম্বকের সাহায্যে আকর্ষণ করিয়া পারদসূত্রের উত্তল প্রান্তে আনিয়া ঠিক স্পর্শ করিয়া দেওয়া হয়। এখন উষ্ণতা যদি বৃদ্ধি পায়, তাহা হইলে পারদ ও কোহল সমেত সমস্ত তরল প্রসারিত হয় এবং বাম দিকের পারদ নির্দেশকটিকে ঠেলিয়া উপরে লইয়া যায়। কিন্তু উষ্ণতা কমিলে নির্দেশককে উপরে রাখিয়া পারদ ও কোহল নামিয়া আসে; কিন্তু নির্দেশকটি স্প্রিং-এর বলে নলের দেওয়ালে সংলগ্ন থাকে। সুতরাং দিনের শেষে এই নির্দেশকটির অবস্থান দেখিয়া দিনের সর্বোচ্চ তাপ জানা যায়। আবার উষ্ণতা কমিলে বড় বাল্‌বের কোহল সঙ্কুচিত হয় এবং পারদসূত্র ও

* জল কোহল প্রভৃতি যে সমস্ত তরল কাঁচকে সিক্ত করে কাঁচের নলের মধ্যে তাহাদের প্রান্ততল অবতল অর্থাৎ সামনের দিক চাপা হয়। যে তরল কাঁচকে সিক্ত করে না, কাঁচের নলে তাহার প্রান্ততলের আকার উত্তল অর্থাৎ সামনের দিকে ফোলা হয়। উদাহরণ—পারদ।

কোহলের মধ্যে শূন্যতার সৃষ্টি হয়। কিন্তু বাম দিকের নলে অবস্থিত পারদসূত্রের অনুভূমিক অবস্থানের চাপে ডান দিকের পারদসূত্র ঐ শূন্যস্থান পূরণ করিতে উপরে উঠে এবং নির্দেশকটিকেও উপরে ঠেলিয়া লইয়া যায়। এই রকমে 24 ঘণ্টা সময়ের সর্বনিম্ন উষ্ণতার সময় নির্দেশকটি সর্বাপেক্ষা উর্ধ্বে উঠে এবং উষ্ণতা বাড়িলে কোহল প্রসারিত হইয়া পারদসূত্রকে ঠেলিয়া নামাইয়া দেয়, কিন্তু স্প্রিং-এর বলে নির্দেশকটি কোহলের মধ্যে নলের দেওয়ালের সঙ্গে সংলগ্ন থাকে এবং ঐ 24 ঘণ্টা সময়ের অবম বা সর্বনিম্ন উষ্ণতা নির্দেশ করে। থার্মোমিটারটির দুই পাশে দুইটি স্কেল সংলগ্ন থাকে। চরম উষ্ণতার দিকের স্কেলটি নীচ হইতে উপরে বাড়ে এবং অবম উষ্ণতার দিকের স্কেলটি নীচ হইতে উপরে কমে। নির্দেশকের পাশে ঐ স্কেলের পাঠ দেখিয়া চরম ও অবম উষ্ণতা জানা যায়। চরম ও অবম উষ্ণতার পাঠ লওয়ার পর চুম্বকের সাহায্যে নির্দেশক দুইটিকে পারদতলের সহিত সংলগ্ন করা হয়।

থার্মোমিতীয় তরল হিসাবে কোহল ও পারদের তুলনা ঃ কোহল ও পারদ এই দুইটি তরল সাধারণত থার্মোমিটারে ব্যবহৃত হয়। থার্মোমিতীয় তরল হিসাবে কোনও ক্ষেত্রে পারদ উপযোগী, আবার কোনও ক্ষেত্রে হয়তো কোহল উপযোগী হয়। নীচের তুলনা হইতে কোন্ ক্ষেত্রে কোন্‌টি উপযোগী তাহা বুঝিতে পারা যাইবে।

পারদ	কোহল
1. পারদের গলনাঙ্ক -39° সে. এবং স্ফুটনাঙ্ক 357° সে.; সুতরাং -39° ডিগ্রীর নীচে পারদকে থার্মোমিটারে ব্যবহার করা যায় না। কিন্তু উপরের দিকে প্রায় 357° সে. পর্যন্ত ব্যবহার করা যাইতে পারে।	1. কোহলের গলনাঙ্ক -112°সে. এবং স্ফুটনাঙ্ক 78° সে.। সুতরাং কোহল থার্মোমিটারের সাহায্যে নীচের দিকে অনেকদূর পর্যন্ত উষ্ণতা মাপা যায়, কিন্তু উপরের দিকে এই থার্মোমিটারের ব্যবহার খুব সীমাবদ্ধ।
2. পারদের আপেক্ষিক তাপ কম অর্থাৎ সামান্য তাপ লইয়া পারদ উষ্ণ বস্তুর উষ্ণতা লাভ করে।	2. কোহলের আপেক্ষিক তাপ পারদ অপেক্ষা বেশী।
3. প্রতি ডিগ্রী উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য পারদের প্রসারণ কম। সুতরাং পারদ-থার্মোমিটারের এই দিক হইতে ক্ষমতা কম।	3. প্রতি ডিগ্রী উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য কোহলের প্রসারণ বেশী। সুতরাং এই বিষয় কোহল পারদের চেয়ে ভাল।
4. পারদ কাঁচকে সিক্ত করে না অর্থাৎ কাঁচের গায়ে লাগিয়া থাকে না। সুতরাং পারদসূত্র যখন নামিয়া আসে, নলের গায়ে পারদ লাগিয়া থাকে না।	4. কোহল কাঁচের গায়ে লাগিয়া থাকে। সুতরাং কোহলসূত্র নামিবার সময়ে কাঁচের গায়ে কোহলবিন্দু লাগিয়া থাকিতে পারে। ইহার ফলে প্রকৃত উষ্ণতা জানিবার অসুবিধা হয়।

পারদ	কোহল
5. পারদ এমনিই উজ্জ্বল এবং সেইজন্য পারদসূত্র কাঁচের মধ্যে স্পষ্ট দেখিবার কোনও অসুবিধা হয় না।	5. সাধারণ অবস্থায় কোহল স্বচ্ছ এবং জলের মতো। সুতরাং কাঁচের ভিতরে স্পষ্ট দেখিবার জন্য কোহলকে রং করিয়া লইতে হয়।

॥ সারাংশ ॥

তাপ ঃ তাপ এক প্রকারের শক্তি যাহা পদার্থের মধ্যে প্রবেশ করিলে পদার্থের উষ্ণতা বৃদ্ধি, প্রসারণ প্রভৃতি পরিবর্তন ঘটে।

তাপের বিভিন্ন ক্রিয়া ঃ উষ্ণতা বৃদ্ধি, প্রসারণ, গলন, বাষ্পায়ণ, রাসায়নিক ক্রিয়া, দহন, আলোক উৎপাদন ইত্যাদি।

তাপ ও উষ্ণতা ঃ তাপ ও উষ্ণতা একার্থবোধক শব্দ নহে। তাপ এক প্রকারের শক্তি যাহা বস্তুর মধ্যে প্রবেশ করিলে বস্তুর উষ্ণতা বৃদ্ধি পায় এবং আরও অনেক রকম পরিবর্তন হয়। আর উষ্ণতা কথাটিব দ্বারা কোনও বস্তুর তাপীয় অবস্থা বুঝায় অর্থাৎ বস্তুটি কত গরম বা ঠাণ্ডা তাহা বুঝায়। তাপকে কারণ ও উষ্ণতাকে তাহার কার্য বলা যাইতে পারে।

তাপের আদান-প্রদান ঃ বিভিন্ন উষ্ণতায় অবস্থিত দুইটি বস্তুকে পরস্পর সংলগ্ন অবস্থায় রাখিলে উষ্ণ বস্তু হইতে শীতল বস্তুতে তাপ প্রবাহিত হইবে যতক্ষণ না উভয় বস্তুর উষ্ণতা সমান হয়।

থার্মোমিটারের কাজ উষ্ণতা মাপা। উষ্ণতাবৃদ্ধির ফলে পদার্থেব যে সমস্ত পরিবর্তন হয় তাহাদের সাহায্যে উষ্ণতার ধারণা করাই থার্মোমিটার নির্মাণের মূলনীতি। উষ্ণতাবৃদ্ধির একটি ক্রিয়া হইল প্রসারণ; এই প্রসারণের সাহায্যে তাপাঙ্ক নির্ণয় করা হয় প্রসারণ থার্মোমিটারে। সাধারণত তরল পদার্থকে থার্মোমিতীয় তরল হিসাবে ব্যবহার করিয়া নির্মিত থার্মোমিটারই খুব প্রচলিত। পারদ ও কোহল এই দুইটি তরলই থার্মোমিটারে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

পরিবর্তসূত্র ঃ কোনও তাপাঙ্ক সেন্টিগ্রেড প্রণালীতে C সে. এবং ফারেনহাইট প্রণালীতে F° হইলে তাহাদের সম্বন্ধ $\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}$ এই পরিবর্ত-সূত্রটি হইতে পাওয়া যায়। এই সূত্রের সাহায্যে কোনও উষ্ণতা এক প্রণালীতে দেওয়া থাকিলে অন্য প্রণালীতে পরিবর্তন করা যায়।

অনুশীলনী

1. Distinguish between heat and temperature. Explain their difference with an analogy.

2. Describe the construction of a mercury thermometer up to the stage of filling the thermometer with mercury.

3. What do you mean by lower and upper fixed points? Describe how these fixed points of a mercury thermometer are determined.

4. Express the following temperatures in the alternative scale : (i) 122°F. ; (ii) 25° C. ; (iii) 482° F. (iv) —100° F. ; (v) —175° C. ; (vi) 350° C. (vii) 24·5° C. ; (viii) 36·5° F. ; (ix) 0° C. ; (v) 0° F.

5. Find a temperature which is expressed on the Fahrenheit scale by a number double of that on the Centigrade scale.

6. The lower and upper fixed points of a thermometer are marked 5° *and* 85° *respectively. A body is found to be at* 65° *by that thermometer. What will be its temperature in Centigrade and Fahrenheit scales?*

[সংকেত : S-কে নূতন স্কেলের তাপাঙ্ক ধরিয়া $\frac{C}{100}=\frac{F-32}{180}$ সূত্র প্রয়োগ কর।]

7. Describe each of the following thermometers with a diagram and explain how it is used : (i) *Six's Maximum and Minimum Thermometer and* (ii) *Clinical thermometer.*

8. Compare mercury and alcohol as thermometric liquids.

উত্তর

4. (i) 50. সে., (ii) 77° ফা. (iii) 250° সে., (iv) —73·33° সে., (v) 283° ফা., (vi) 662° ফা, (vii) 76·1° ফা., (viii) 2·5° সে., (ix) 32° ফা., (x) −17·78° সে. 5. 160° সে. অথবা 320° ফা. 6. 75° সে. অথবা 167° ফা.

দ্বিতীয় অধ্যায়

ক্যালরিমিতি

[Calorimetry]

সাধারণ অবস্থায় নির্দিষ্ট ভরের কোনও পদার্থের মধ্যে যে পরিমাণ তাপ প্রবেশ করে তাহার সহিত পদার্থের উষ্ণতাবৃদ্ধি সমানুপাতী। অথবা ঐ পদার্থ হইতে যতটা তাপ বর্ধিত হয় তাহা ঐ পদার্থের উষ্ণতা হ্রাসের সমানুপাতী।

বিভিন্ন পদার্থের একই পরিমাণ তাপ গ্রহণ করিয়া উষ্ণতাবৃদ্ধির ক্ষমতা বিভিন্ন। জলকে প্রামাণিক পদার্থ ধরিয়া তাপীয় এককের এইরূপ সংজ্ঞা নির্দেশ করা যাইতে পারে : **একক ভরের জলের এক ডিগ্রী উষ্ণতা পরিবর্তনের জন্য (গৃহীত** বা **বর্জিত) তাপকে তাপীয় একক বলা হয়।**

সি. জি. এস. এবং এফ. পি. এস. প্রণালীতে তাপের দুইটি একক প্রচলিত :

ক্যালরি : 1 গ্রাম জলের 1° সে. উষ্ণতা পরিবর্তনের জন্য গৃহীত (বা বর্জিত) তাপকে এক ক্যালরি তাপ বলে।

ব্রি. তা. এ. : 1 পাউণ্ড জলের 1° ফা. উষ্ণতা পরিবর্তনের জন্য গৃহীত (বা বর্জিত) তাপকে 1 ব্রিটিশ তাপীয় একক (ব্রি. তা. এ.) বলে।

উদাহরণ 1. 20 গ্রাম জলের উষ্ণতা 5° সে. বৃদ্ধি করিতে কত ক্যালরি তাপ লাগিবে ?

1 গ্রাম জলের উষ্ণতা 1° সে. বৃদ্ধি করিতে লাগে 1 ক্যালরি তাপ
∴ 20 „ „ „ 5° „ „ „ „ 20 × 5
বা **100 ক্যালরি**

উদাহরণ 2. 5 পাউণ্ড জলের উষ্ণতা 7·5 ফা. বৃদ্ধি করিতে কত পরিমাণ তাপ লাগিবে।

1 পা. জলের উষ্ণতা 1° ফা. বৃদ্ধি করিতে লাগে 1 ব্রি. তা. এ. তাপ
∴ 5 পা. „ „ 7·5° „ „ „ „ 5 × 7 5 ব্রি. তা. এ· „
বা **37·5 ব্রি. তা. এ.** „

উদাহরণ 3. 10 পাউণ্ড জলের উষ্ণতা 20° সে. বৃদ্ধি করিতে কত ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হইবে ? [1 পাউণ্ড = 453·6 গ্রাম]

10 পাউণ্ড = 10 × 453·6 গ্রাম = 4536 গ্রাম

1 গ্রাম জলের উষ্ণতা 1° সে, বৃদ্ধি করিতে লাগে 1 ক্যালরি তাপ
∴ 4536 „ „ „ 20° সে. „ „ 4536 × 20 ক্যালরি তাপ
বা 90720 **ক্যালরি** „

উদাহরণ 4. একটি ফ্লাস্কে 50° সে. উষ্ণতায় 100 গ্রাম জল আছে। ঐ জলের উষ্ণতা 30° সেন্টিগ্রেডে নামিবার পূর্বে কত পরিমাণ তাপ ত্যাগ করিবে ?

50° সে. – 30° সে. = 20° সে.

1 গ্রাম জল 1° সে. নামিতে 1 ক্যালরি তাপ ত্যাগ করে
∴ 100 ,, ,, 20° ,, ,, 100 × 20
বা **2000 ক্যালরি** ,, ,, ,,

উদাহরণ 5. একটি গরম জলের বোতলে $2\frac{1}{2}$ পাউণ্ড জল 200° ফা. উষ্ণতায় আছে। 80° ফারেনহাইটে নামিবার পূর্বে ঐ জল কতখানি তাপ বর্জন করিবে ?

200° ফা. – 80° ফা. = 120° ফা. ঘর (interval)

1 পা. জল 1° ফা. শীতলতর হইতে 1 ব্রি. তা. এ. তাপ বর্জন করে।
∴ $2\frac{1}{2}$,, ,, 120° ফা. ,, ,, $2\frac{1}{2} \times 120$
বা **300 ব্রি. তা. এ.** ,, ,, করিবে।

দুইটি এককের সম্বন্ধ : 1 পাউণ্ড = 453·6 গ্রাম ; এবং ফারেনহাইটের 1° ঘর = সেণ্টিগ্রেডের ($\frac{5}{9}$) ঘর। সুতরাং ব্রি. তা. এ. এবং ক্যালরির সম্বন্ধ এইরূপে বাহির করা যায় :

1 গ্রাম জলের 1° সে. উষ্ণতা পরিবর্তনের জন্য লাগে 1 ক্যালরি তাপ
∴ 453·6 গ্রাম ,, ($\frac{5}{9}$)° সে. ,, ,, ,, ,, $453{\cdot}6 \times \frac{5}{9}$,, তাপ
অর্থাৎ 1 পাউণ্ড ,, 1° ফা. ,, ,, ,, ,, 252 ,, তাপ
কিন্তু সংজ্ঞানুসারে,
1 পাউণ্ড ,, 1° ফা. ,, ,, ,, ,, 1 ব্রি. তা. এ.
সুতরাং, **1 ব্রি. তা. এ. = 252 ক্যালরি**

আপেক্ষিক তাপ

[Specific Heat]

আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা নির্দেশের পূর্বে একটি পরীক্ষার কথা বিবেচনা করা যাক। লোহা, তামা, সীসা, পাথর প্রভৃতি বিভিন্ন উপাদানে প্রস্তুত একই ভরবিশিষ্ট কয়েকটি বল লওয়া হইল। বলগুলিকে কোনও বাষ্পীয় উত্তাপকের (steam heater) মধ্যে অনেকক্ষণ রাখা হইল যাহাতে উহারা প্রত্যেকে একই উষ্ণতায় উঠিতে পারে। এখন একটি মোমের পুরু পাত লইয়া তাহার উপর ঐ গরম বলগুলি রাখা হইল। কিছুক্ষণ পরে দেখা যাইবে এক-একটি বল এক-একটি বিভিন্ন গভীরতা পর্যন্ত মোম গলাইয়া মোমের মধ্যে নিমজ্জিত হইয়াছে। একক ভরের মোম গলাইতে সর্বদা নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয় এবং ধরা যাইতে পারে মোম গলাইবার সময় প্রত্যেক বল গলন্ত মোমের উষ্ণতা পর্যন্ত নামিতেছে। সুতরাং দেখা গেল নির্দিষ্ট ভরের বিভিন্ন পদার্থ একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতা হইতে অপর একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতা পর্যন্ত নামিতে বিভিন্ন পরিমাণ তাপ বর্জন করিবে। আবার অপর পক্ষে বলা যাইতে পারে নির্দিষ্ট ভরের বিভিন্ন বস্তু নির্দিষ্ট উষ্ণতায় উঠিতে সর্বদা বিভিন্ন পরিমাণ তাপ গ্রহণ করিবে।

আবার নির্দিষ্ট ভরের কোনও বস্তুর নির্দিষ্ট উষ্ণতা পরিবর্তনের জন্য সর্বদা নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হইবে। তাপীয় এককের সংজ্ঞা নির্দেশের সময় জলের ক্ষেত্রে আমরা ইহা দেখিয়াছি এবং একক ভরের জলের এক ডিগ্রী উষ্ণতা পরিবর্তনের জন্য প্রয়োজনীয় তাপকে একক তাপ বলা হইয়াছে। অন্যান্য পদার্থেরও একক ভর লইয়া উহার এক ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপ লাগে তাহা ঐ পদার্থের একটি বৈশিষ্ট্য। উহাকেই ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলে। অতএব আপেক্ষিক তাপের এইরূপ সংজ্ঞা নির্দেশ করা যায়:

একক ভরের কোনও পদার্থের এক ডিগ্রী পরিমাণ উষ্ণতা পরিবর্তনের জন্য গৃহীত (বা বর্জিত) তাপকে ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলা হয়।

উদাহরণস্বরূপ 1 গ্রাম তামাকে 1° সে. উষ্ণতর করিতে যদি **0·1** ক্যালরি তাপ লাগে তাহা হইলে তামার আপেক্ষিক তাপ প্রতি গ্রামে **0·1** ক্যালরি (বা 0·1 ক্যালরি/গ্রাম)।

আবার, 1 গ্রাম তামাকে 1° সে. উষ্ণতর করিতে যদি ·1 ক্যালরি লাগে ;
তবে, 453·6 „ „ $(\frac{5}{9})°$ সে. „ „ $·1 \times 453·6 \times \frac{5}{9}$ „ „ ;
অথবা, 1 পাউণ্ড „ 1° ফা. „ „ ·1 × 252 ক্যালরি
বা ·1 ব্রি. তা. এ. লাগে।

[যেহেতু 252 ক্যালরি = **1** ব্রি. তা. এ.]

সুতরাং, তামার আপেক্ষিক তাপ = **0·1** ব্রি. তা. এ./পাউণ্ড এইরূপেও বলা যায়।

অর্থাৎ কোনও পদার্থের আপেক্ষিক তাপ সি. জি. এস. বা এফ. পি. এস. যে কোনও একককেই প্রকাশ করা যাউক না কেন, উহার সাংখ্যমান অপরিবর্তিত থাকে। এইজন্য আপেক্ষিক তাপকে এককমুক্ত অবস্থায় কেবল সংখ্যা দ্বারাও প্রকাশ করা হয় ; যেমন, তামার আপেক্ষিক তাপ = **0·1**।

বিকল্প সংজ্ঞা: নির্দিষ্ট ভরের কোনও পদার্থ এক ডিগ্রী পরিমাণ উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য উহার সমান ভরবিশিষ্ট জলের তুলনায় যতগুণ বা যত ভাগ তাপ গ্রহণ করে তাহাকে ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলে। এই সংজ্ঞা অনুসারে আপেক্ষিক তাপ এইরূপ একটি অনুপাত: কোনও পদার্থের আপেক্ষিক তাপ

$$= \frac{\text{পদার্থের নির্দিষ্ট ভরকে } 1° \text{ উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে প্রয়োজনীয় তাপ}}{\text{সমান ভরবিশিষ্ট জলের } 1° \text{ উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে প্রয়োজনীয় তাপ}}$$

জলের আপেক্ষিক তাপ = 1 : একক ভরের জলকে এক ডিগ্রী উষ্ণতর করিতে প্রয়োজনীয় তাপকে তাপীয় একক ধরা হইয়াছে। আবার আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা অনুসারে উহাই জলের আপেক্ষিক তাপ। অর্থাৎ জলের আপেক্ষিক তাপ = 1 ক্যালরি/গ্রাম বা 1 ব্রি. তা. এ./পাউণ্ড, বা, কেবল 1.

আপেক্ষিক তাপ লিখিবার নিয়ম: আপেক্ষিক তাপকে একক সহ প্রকাশ করিলে, তামার আপেক্ষিক তাপ = প্রতি গ্রামে ·1 ক্যালরি বা

$\cdot1$ ক্যালরি/গ্রাম, লেখা হয়। 'ক্যালরি/গ্রাম' ইহাকে 'ক্যালরি প্রতি গ্রামে' এইরূপে পড়া যায়। এককবিহীনভাবে প্রকাশ করিলে 'তামার আপেক্ষিক তাপ $=\cdot1$, এইরূপে উল্লেখ করা হয়।

উদাহরণ 1. তামার আপেক্ষিক তাপ $=0\cdot1$ ক্যালরি/গ্রাম। 50 গ্রাম তামার $32°$ সে উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে কত ক্যালরি তাপ লাগিবে?

সংজ্ঞানুসারে:

1 গ্রাম তামার $1°$ সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য লাগে $0\cdot1$ ক্যালরি
$\therefore$ 50 „ „ $32°$ সে. „ $0\cdot1\times50\times32$ „
$=$ **160 ক্যালরি**

উদাহরণ 2. লোহার আপেক্ষিক তাপ $=\cdot12$ হইলে, 20 পাউণ্ড লোহাকে $32°$ ফা. হইতে $112°$ ফা. পর্যন্ত উষ্ণতর করিতে কত তাপ লাগিবে? উত্তর সি. জি. এস. এবং এফ. পি. এস. এককে প্রকাশ কর।

$112°-32°=80°$.

সংজ্ঞানুসারে:

1 পা. লোহাকে $1°$ ফা. উষ্ণতর করিতে লাগে $\cdot12$ ব্রি. তা. এ
$\therefore$ 20 „ „ $80°$ ফা. „ „ $\cdot12\times20\times80$ „
বা, **192 ব্রি. তা. এ.**

কিন্তু 1. ব্রি. তা. এ. $=252$ ক্যালরি
$\therefore$ নির্ণেয় তাপ $=192\times252$ ক্যালরি $=$ **48384 ক্যালরি**।

উদাহরণ 3. 50 গ্রাম ওজনের একটি মার্বেল পাথরকে 6 ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে 66 ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয়। মার্বেলের আপেক্ষিক তাপ কত?

মনে করা যাক,

মার্বেলের আপেক্ষিক তাপ $=S$

তাহা হইলে, 1 গ্রাম মার্বেলের $1°$ সে. উষ্ণতাবৃদ্ধি করিতে লাগে S ক্যালরি
$\therefore$ 50 „ „ $6°$ সে. „ $S\times50\times6$ „
বা 300S ক্যালরি

সুতরাং, প্রশ্নানুসারে

$$300S=66$$

$$\text{বা } S=\frac{66}{300}=\mathbf{0\cdot22}$$

উদাহরণ 4. কোনও পদার্থের আপেক্ষিক তাপ $=s$; উহার m গ্রামকে $t°$ সে. উষ্ণতায় উন্নীত করিতে কত তাপ লাগিবে?

সংজ্ঞানুসারে ঐ পদার্থের

1 গ্রামকে $1°$ সে. উষ্ণতর করিতে লাগে s ক্যালরি
$\therefore$ m গ্রামকে $t°$ সে. „ „ „ mst „

সুতরাং প্রয়োজনীয় তাপকে H (ক্যালরি) দ্বারা প্রকাশ করিলে :

$$H = mst$$

ইহা ক্যালরিমিতির একটি অতি প্রয়োজনীয় সূত্র।

মিশ্রণ প্রণালী

[Method of Mixtures]

একটি উষ্ণ ও একটি শীতল বস্তুকে পরস্পর সংলগ্ন অবস্থায় রাখিলে তাহাদের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান হয়। আমরা পূর্বে দেখিয়াছি এই প্রকার তাপের আদান-প্রদানের ক্ষেত্রে উষ্ণ বস্তু হইতে শীতল বস্তুতে তাপ প্রবেশ করে যতক্ষণ উভয় বস্তুর উষ্ণতা সমান না হয়। এইরূপ ক্ষেত্রে যদি ধরিয়া লওয়া হয় উষ্ণ ও শীতল বস্তু দুইটির সহিত বাহিরের কোনও বস্তুর তাপ আদান-প্রদান হইতেছে না, সম্পূর্ণ তাপ চলাচল এই দুইটি বস্তুর মধ্যেই সীমাবদ্ধ, তাহা হইলে উষ্ণ বস্তু দ্বারা বর্জিত তাপই শীতল বস্তু দ্বারা গৃহীত তাপ হইবে। অর্থাৎ এইরূপ তাপ আদান-প্রদানের মূলসূত্র হইল :

বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

দুইটি বস্তুর মধ্যে তাপ আদান-প্রদানমূলক যে কোনও উদাহরণে এই সূত্রের প্রয়োগ করা যাইতে পারে। এইরূপ কয়েকটি উদাহরণ লওয়া হইল :

উদাহরণ 1. $80°$ সে. উষ্ণতায় 120 গ্রাম জলের মধ্যে $30°$ সে. উষ্ণতায় 50 গ্রাম জল ঢালিয়া দিলে মিশ্রণের উষ্ণতা কত হইবে ?

মনে করা যাক, মিশ্রণের নির্ণেয় উষ্ণতা $= t°$ সে.

তাহা হইলে উষ্ণ জলের $(80 - t)°$ সে. উষ্ণতা হ্রাস হইয়াছে ;

এবং শীতল জলের $(t - 30)°$ সে. উষ্ণতা বৃদ্ধি হইয়াছে।

সুতরাং, উষ্ণ জল কর্তৃক বর্জিত তাপ $= 120\ (80 - t)$ ক্যালরি

এবং শীতল ,, ,, গৃহীত ,, $= 50\ (t - 30)$,,

কিন্তু বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

সুতরাং $120\ (80 - t) = 50\ (t - 30)$

বা, $960 - 12t = 5t - 150$

বা, $-17t = -150 - 960 = -1110$

বা, $t = \dfrac{-1110}{-17} = 65{\cdot}3$ প্রায়

অর্থাৎ নির্ণেয় মিশ্রণের উষ্ণতা $= \mathbf{65{\cdot}3°}$ **সে.**

উদাহরণ 2. $90°$ সে. উষ্ণ 115 গ্রাম জলের মধ্যে $30°$ সে. তাপাঙ্কে অবস্থিত 20 গ্রাম ওজনের একটি তামার বল ফেলিয়া দেওয়া হইল। যদি জল ও তামার মধ্যেই সমস্ত তাপের আদান-প্রদান সীমাবদ্ধ থাকে, তাহা হইলে জলের উষ্ণতা কত ডিগ্রী হ্রাস পাইবে ? [তামার আপেক্ষিক তাপ 0·1]

মনে করা যাক, মিশ্রণের উষ্ণতা $= t^\circ$ সে.

$\therefore$ জল দ্বারা বর্জিত তাপ $= 115(90 - t)$ ক্যালরি

এবং তামা দ্বারা গৃহীত তাপ $= 20 \times 0{\cdot}1 \times (t - 30)$ ক্যালরি

($H = mst$ সূত্র অনুসারে)

এখন, গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

সুতরাং $115(90 - t) = 20 \times 0{\cdot}1(t - 30)$

বা, $10350 - 115t = 2t - 60$

বা, $-117t = -60 - 10350 = -10410$

বা, $t = \dfrac{-10410}{-117} = 89$ (প্রায়)

সুতরাং জলের উষ্ণতাহ্রাস $= (90 - 89)^\circ$ সে. $= \mathbf{1^\circ}$ **সে.** (প্রায়)

উদাহরণ 3. 30° সে. উষ্ণতায় 75 গ্রাম তার্পিনের মধ্যে 98° সে. উষ্ণতায় 30 গ্রাম ওজনের এক টুকরা মার্বেলকে ফেলিয়া দেওয়া হইল। মার্বেলের ও তার্পিনের আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে 0·22 এবং 0·43 হইলে মিশ্রণের উষ্ণতা কত হইবে ?

মনে করা যাক, মিশ্রণের উষ্ণতা $= t^\circ$ সে.

$\therefore$ মার্বেল কর্তৃক বর্জিত তাপ $\times 30 \times {\cdot}22\ (98 - t)$ ক্যালরি

এবং তার্পিন কর্তৃক গৃহীত ,, $= 75 \times {\cdot}43\ (t - 30)$,,

কিন্তু গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

সুতরাং $75 \times {\cdot}43\ (t - 30) = 30 \times {\cdot}22(98 - t)$

বা, $5 \times {\cdot}43\ (t - 30) = 2 \times {\cdot}22(98 - t)$

বা, $2{\cdot}15t - 64{\cdot}5 = 42{\cdot}12 - {\cdot}44t$

বা, $2{\cdot}59t = 107{\cdot}62$

বা, $t = 41{\cdot}5$

$\therefore$ নির্ণেয় তাপাঙ্ক $= \mathbf{41{\cdot}5^\circ}$ **সে.** (প্রায়)

তাপীয় ধারকত্ব ও জলসম (Thermal Capacity and Water Equivalent) **:** কোনও বস্তুর তাপ ধারণের ক্ষমতাকে উহার তাপীয় ধারকত্ব বলে। **এক ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য কোনও বস্তু যতখানি তাপ গ্রহণ করে তাহাই ঐ বস্তুর তাপীয় ধারকত্ব।** উদাহরণস্বরূপ একটি লোহার বল এক ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতর হইতে **5** ক্যালরি তাপ গ্রহণ করে তাহা হইলে ঐ বলটির তাপীয় ধারকত্ব **5** ক্যালরি।

আমরা জানি কোনও বস্তুর ভর যদি m গ্রাম হয় এবং উহার উপাদানের আপেক্ষিক তাপ যদি s হয়, তাহা হইলে ঐ বস্তুকে একডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতর করিতে ms ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয়। সুতরাং ঐ বস্তুর তাপীয় ধারকত্ব (Thermal Capacity) H দ্বারা সূচিত করিলে **:**

$$H = ms \text{ ক্যালরি}$$

এখন কোনও বস্তুর ভর m গ্রাম এবং আপেক্ষিক তাপ s হইলে, উহার উষ্ণতা এক ডিগ্রী বৃদ্ধি করিতে ms ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয়। আবার ms গ্রাম জল লইলে তাহার উষ্ণতাও 1° সে. বৃদ্ধি করিতেও ms ক্যালরি তাপ লাগে। অর্থাৎ m গ্রাম ভরবিশিষ্ট বস্তুটির পরিবর্তে ms গ্রাম জল লইলে প্রতি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড (অথবা ফারেনহাইট) উষ্ণতার পরিবর্তনের জন্য গৃহীত বা বর্জিত তাপ উভয় ক্ষেত্রেই সমান। অতএব ক্যালরিমিতীয় গণনায় m গ্রাম ভরের বস্তুটির পরিবর্তে ms গ্রাম ভরের জল লইলেও একই ফল পাওয়া যাইবে। এই ms গ্রাম জলকেই বস্তুটির জলসম বলে। অতএব **কোনও বস্তুর এক ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপের দ্বারা যতখানি ভরের জলেরও এক ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি করা যায় সেই পরিমাণ জলকে ঐ বস্তুর জলসম (Water Equivalent) বলে।**

উপরের আলোচনা অনুসারে m গ্রাম ভর এবং s আপেক্ষিক তাপবিশিষ্ট কোনও বস্তুর জলসমকে w অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করিলে :

$$w = ms \text{ গ্রাম}$$

অতএব কোনও বস্তুর তাপীয় ধারকত্ব ও জলসমের সাংখ্যমান সমান এবং উহা ঐ বস্তুর ভর ও আপেক্ষিক তাপের সাংখ্যমানের গুণফল। কিন্তু উহাদের একক বিভিন্ন। তাপীয় ধারকত্ব প্রকৃতপক্ষে নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ, অতএব উহার একক ক্যালরি (বা B. Th. U.)। কিন্তু জলসম প্রকৃতপক্ষে নির্দিষ্ট ভরের জল, অতএব উহার একক গ্রাম (বা পাউণ্ড)।

উদাহরণ 1. একটি তামার পাত্রের ভর **50** গ্রাম। তামার আপেক্ষিক তাপ **0·1** হইলে, ঐ পাত্রটির তাপীয় ধারকত্ব ও জলসম কত?

তাপীয় ধারকত্ব $= ms$ ক্যালরি $= 50 \times 0{\cdot}1$ ক্যালরি $= 5$ ক্যালরি

এবং জলসম $= ms$ গ্রাম $= 50 \times 0{\cdot}1$ গ্রাম $= 5$ গ্রাম।

উদাহরণ 2. একটি লোহার বলের জলসম 2·3 গ্রাম। উহাকে 25° সে. হইতে 45° সে. উষ্ণতর করিতে কত ক্যালরি তাপ লাগিবে?

বস্তুটির জলসম $= 2{\cdot}3$ গ্রাম; $\therefore$ উহার তাপীয় ধারকত্ব $= 2{\cdot}3$ ক্যালরি অর্থাৎ উহাকে 1° সে. উষ্ণতর করিতে 2·3 ক্যালরি তাপ লাগে।

$\therefore$ উহাকে $(45-25)°$ সে. উষ্ণতর করিতে $2{\cdot}3 \times 20$ ক্যালরি

বা **46 ক্যালরি** তাপ লাগিবে।

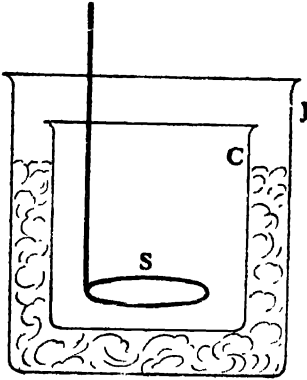
উদাহরণ 3. একটি তামার পাত্রের জলসম 5 গ্রাম এবং উহাতে 25 গ্রাম জল আছে। পাত্রসহ ঐ জলকে 10° সে. উষ্ণতর করিতে কত তাপ লাগিবে?

ক্যালরিমিতীয় গণনায় তামার পাত্রটির পরিবর্তে উহার জলসমের সমপরিমাণ জল লওয়া যাইতে পারে।

সুতরাং তামার পাত্র $+25$ গ্রাম জল $= 5$ গ্রাম জল $+ 25$ গ্রাম জল

$= 30$ গ্রাম জল।

সুতরাং নির্ণেয় তাপের পরিমাণ $= 30 \times 10$ ক্যালরি $=$ **300 ক্যালরি**

ক্যালরিমিটার : ইহা নানাপ্রকার ক্যালরিমিতীয় পরীক্ষায় ব্যবহৃত একটি বিশেষভাবে নির্মিত তামার পাত্র (১০নং চিত্রে C)। ইহার মধ্যে যে তরল পদার্থ লওয়া হয় তাহাকে নাড়িয়া মিশাইবার জন্য তামার তারে প্রস্তুত একটি মিশ্রক (Stirrer) S থাকে। এইপাত্রের মধ্যে বিভিন্ন উষ্ণতায় অবস্থিত দুইটি পদার্থ লওয়া হয়। উহাদের অন্তত একটি পদার্থকে অবশ্যই তরল হইতে হইবে। দ্বিতীয়টি তরল বা কঠিন হইতে পারে। তাপ আদান-প্রদানের পর মিশ্রিত বস্তু একটি সাধারণ উষ্ণতায় আসে। থার্মোমিটার দ্বারা এই উষ্ণতা মাপা হয়। এইরূপে বিভিন্ন ক্যালরিমিতীয় গণনায় ক্যালরিমিটারের বহুল ব্যবহার দেখা যায়। ক্যালরিমিটার হইতে যাহাতে বেশী তাপ বাহির হইয়া না যায় সেই জন্য চারিদিকে পুরু পশমের আবরণ দিয়া উহাকে একটি বড় পাত্র J-এর ভিতর রাখা যাইতে পারে।

১০নং চিত্র : ক্যালরিমিটার

ক্যালরিমিটারের জলসম নির্ণয় : কোনও ক্যালরিমিটার ব্যবহার করিতে হইলে ইহার জলসম প্রথমে জানার প্রয়োজন হইতে পারে। নিম্নবর্ণিত উপায়ে ক্যালরিমিটারের জলসম নির্ণয় করা যায় :

(1) ক্যালরিমিটারটি আলোড়ক সমেত প্রথমে ওজন করা হইল। (2) তারপর ইহার মধ্যে আবহাওয়ার উষ্ণতায় অবস্থিত কিছু (অর্ধেক আন্দাজ) জল লইয়া আবার ওজন করা হইল। দুইটি ওজনের ব্যবধান গৃহীত জলের ওজন হইবে। (3) একটি থার্মোমিটার ঐ জলের মধ্যে ডুবাইয়া রাখিয়া উহা হইতে জলের প্রারম্ভিক উষ্ণতার পাঠ লওয়া হইল। (4) এখন একটি বীকারে কিছু গরম জল লইয়া তাহার উষ্ণতাও থার্মোমিটার দ্বারা দেখিয়া লওয়া হইল। (5) তারপর ঐ বীকার হইতে গরম জল ধীরে ধীরে ক্যালরিমিটারের মধ্যে ঢালা হইল এবং আলোড়ক দ্বারা নাড়া হইল। জল ঢালা বন্ধ করিয়া থার্মোমিটার হইতে মিশ্রণের উষ্ণতায় পাঠ লওয়া হইল। (6) কিছুক্ষণ অপেক্ষা করিয়া মিশ্রিত জল ঠাণ্ডা হইলে সমস্ত জলসহ ক্যালরিমিটারটি আবার ওজন করা হইল। এই তৃতীয় ওজন ও পূর্বের দ্বিতীয় ওজনের ব্যবধান হইবে গৃহীত উষ্ণ জলের ওজন।

গণনা : মনে করা যাক,

ω গ্রাম = ক্যালরিমিটারের নির্ণেয় জলসম

m_1 গ্রাম = গৃহীত ঠাণ্ডা জলের ভর

m_2 গ্রাম = „ গরম „ „

t_1° C = ঠাণ্ডা জলের উষ্ণতা

t_2° C = গরম „ „

t° C = মিশ্রণের উষ্ণতা

এখন ক্যালরিমিটার ও শীতল জল দ্বারা গৃহীত তাপ = উষ্ণজল দ্বারা বর্জিত তাপ। কিন্তু ক্যালরিমিটার ও শীতল জল দ্বারা গৃহীত তাপ = (ক্যালরিমিটারের জলসম + শীতল জলের ভর) × উষ্ণতা বৃদ্ধি

$= (\omega + m_1)(t - t_1)$ ক্যালরি

এবং উষ্ণজল দ্বারা বর্জিত তাপ = জলের ভর × উষ্ণতা হ্রাস

$= m_2 (t_2 - t)$ ক্যালরি

$$\therefore \quad (\omega + m_1)(t - t_1) = m_2 (t_2 - t)$$

বা, $$\omega + m_1 = \frac{m_2 (t_2 - t)}{t - t_1}$$

বা, $$\omega = \frac{m_2 (t_2 - t)}{t - t_1} - m_1$$

এই সূত্রের ডান দিকের সবগুলি রাশিই জানা আছে।

সুতরাং ω-এর মান নির্ণয় করা যাইতে পারে।

উদাহরণ 1 : একটি ক্যালরিমিটারের 30° সে. উষ্ণতায় 30 গ্রাম জল লইয়া উহার মধ্যে 65° সে. উষ্ণতায় 15 গ্রাম জল ঢালিয়া দেওয়ায় মিশ্রিত জলের উষ্ণতা 40° সে. হইল ; ক্যালরিমিটারের জলসম কত ?

এখানে $m_1 = 30$ গ্রাম $\quad t_1 = 30°$ সে.

$m_2 = 15$ গ্রাম $\quad t_2 = 65°$ সে.

$t = 40°$ সে.

সুতরাং উপরের সূত্র প্রয়োগে ;

নির্ণেয় জলসম, $$\omega = \frac{m_2 (t_2 - t)}{t - t_1} - m_1$$

$$= \left\{\frac{15\ (65 - 40)}{40 - 30} - 30\right\} \text{ গ্রাম}$$

$$= \left\{\frac{15 \times 25}{10} - 30\right\} \text{ গ্রাম} = \mathbf{7{\cdot}5} \textbf{ গ্রাম}$$

এই প্রণালীতে ক্যালরিমিটারের জলসম নির্ণয় করিয়া তাহা হইতে ক্যালরিমিটারের ধাতব উপাদান বা তামার আপেক্ষিক তাপও নির্ণয় করা যায়। কারণ ক্যালরিমিটারের ভর m গ্রাম এবং তামার আপেক্ষিক তাপ s হইলে,

জলসম $\mathrm{w} = ms$.

সুতরাং $$s = \frac{\mathrm{w}}{m}$$

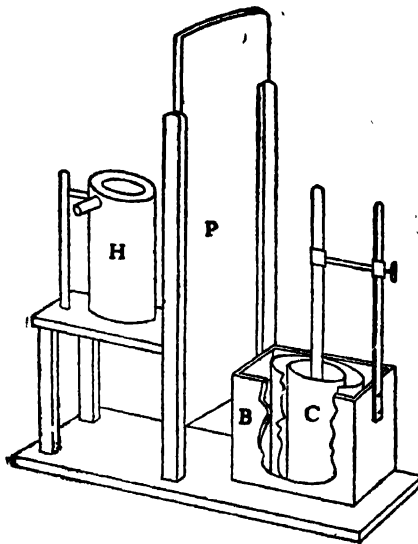
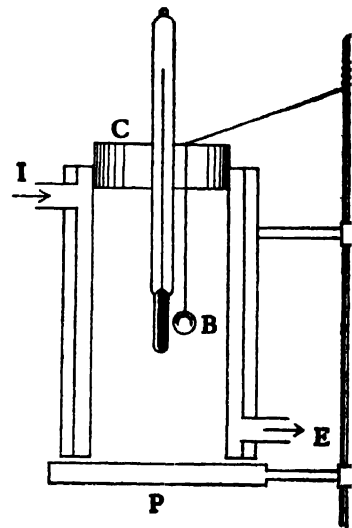
উপরের উদাহরণে মনে করা যাক্ ক্যালরিমিটারের ভর = **75** গ্রাম

$$\therefore \quad s = \frac{\mathrm{w}}{m} = \frac{7{\cdot}5}{75} = \mathbf{0{\cdot}1}$$

পূর্বোক্ত প্রণালীর ত্রুটি : জলসম নির্ণয়ের এই প্রণালীতে ধরা হইয়াছে উষ্ণ জল যে তাপ বর্জন করে, ক্যালরিমিটার ও তাহার মধ্যে গৃহীত

শীতল জল সেই তাপকে ঠিক সম্পূর্ণ গ্রহণ করে। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে তাহা হয় না। ক্যালরিমিটারের সহিত সংলগ্ন অন্য বস্তুতেও কিছু পরিমাণে তাপ সঞ্চালিত হয়। ক্যালরিমিটার-সংলগ্ন বায়ুর দ্বারাও কিছু তাপ বাহির হইয়া যায়। তাহা ছাড়া কিছু তাপ বিকিরণের দ্বারাও বাহির হইয়া যায়। উষ্ণ ও শীতল জলকে মিশাইতে যে সময় লাগে সেই সময়ের মধ্যেই এই প্রকারে ক্যালরিমিটার হইতে তাপ বর্জিত হয়। এইজন্য লব্ধ ফলও ত্রুটিপূর্ণ হয়।

ত্রুটি সংশোধন: পূর্বোক্ত ত্রুটি সম্পূর্ণ সংশোধন করা বা এড়াইয়া চলা প্রায় অসম্ভব ব্যাপার। ইহাকে কেবল যথাসম্ভব সংশোধন করা যাইতে পারে। যাহাতে এই প্রকারের তাপ যথাসম্ভব কম বর্জিত হয় সেইজন্য ক্যালরিমিটারের বাহিরের গাত্র মসৃণ করিয়া লওয়া হয় (কারণ মসৃণ তলে বিকিরণ খুব কম হয়।)

আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়: রেনোর প্রণালী (Regnault's method): এই প্রণালীকে প্রকৃতপক্ষে মিশ্রণ প্রণালী বলা যাইতে পারে। রেনোর উদ্ভাবিত যন্ত্রটির চিত্র দেওয়া হইল। ইহার দুইটি অংশ; B বাক্সের মধ্যে পশমের জ্যাকেট আবৃত একটি ক্যালরিমিটার C এবং একটি স্টীম হিটার (Steam heater) H. হিটারটি দুই দেওয়ালবিশিষ্ট একটি ফাঁপা তামার চোঙ বা সিলিণ্ডার। ইহার মধ্যে I-নলটি দ্বারা বাষ্প প্রবেশ করে এবং E-নলটি দ্বারা

১১নং চিত্র: রেনোর যন্ত্র

১২নং চিত্র: স্টীম হিটার

ইহা হইতে বাষ্প বাহির হয়। মাঝখানের সিলিণ্ডারাকৃতি ফাঁপা অংশের উপরের মুখ C কর্ক দ্বারা বন্ধ করা যায় এবং নীচের মুখও P চাকতিটি দ্বারা বন্ধ করিয়া রাখা যায়।

ক্যালরিমিটার ও স্টীম হিটারের মাঝখানে একটি কাঠের পার্টিশন P দেওয়া থাকে। সুতরাং পরীক্ষার সময়ে হিটার হইতে তাপ সঞ্চালিত হইয়া ক্যালরিমিটারের তরলকে গরম করিতে পারে না।

মূলনীতি : এই প্রণালীতে একটি উত্তপ্ত কঠিন বস্তুকে স্বাভাবিক উষ্ণতায় অবস্থিত কোনও তরলে ফেলিয়া মিশ্রণ প্রণালীতে আপেক্ষিক তাপ বাহির করা হয়। ঐ কঠিন পদার্থ গৃহীত তরলে অদ্রাব্য হওয়া এবং উহাদের মধ্যে কোনও রাসায়নিক ক্রিয়া হইবে না এইরূপ হওয়া প্রয়োজন। তরল ও কঠিন ইহাদের মধ্যে যে কোনও একটির আপেক্ষিক তাপ জানা থাকিলে অপর পদার্থটির আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করা যাইতে পারে।

প্রকৃত প্রণালী

1. প্রথমে কঠিন বস্তুটি ওজন করিয়া উহাকে হিটারের মধ্যে ঝুলাইয়া দিতে হইবে। থার্মোমিটারটিকেও এমনভাবে প্রবেশ করাইয়া দিতে হইবে যে, উহার পারদকুণ্ড কঠিন বস্তুটির পাশেই থাকে।

2. ক্যালরিমিটারের মধ্যে কিছু তরল লইয়া উহার ওজন নির্ণয় করিতে হইবে। ক্যালরিমিটারে গৃহীত তরলের প্রারম্ভিক উষ্ণতার পাঠ থার্মোমিটারের সাহায্যে লইতে হইবে।

3. তার পর যখন দেখা যাইবে স্টীমহিটার একটি সর্বোচ্চ উষ্ণতায় উঠিয়া স্থির আছে, তখন উহার পাঠ লইতে হইবে।

4. এখন কাঠের পার্টিশনটি তুলিয়া ক্যালরিমিটারটি ঠেলিয়া হিটারের ঠিক নীচে আনিতে হইবে এবং হিটারের নীচের চাকতিটি সরাইয়া কঠিন বস্তুটি তরলের মধ্যে সাবধানে ফেলিতে হইবে। সঙ্গে সঙ্গে ক্যালরিমিটারটিকে অন্যদিকে সরাইয়া মিশ্রক (stirrer) দ্বারা নাড়িতে হইবে এবং তরলের সর্বোচ্চ উষ্ণতা লক্ষ্য করিয়া উহার পাঠ লইতে হইবে।

গণনা : মনে করা যাক, ক্যালরিমিটারের জলসম $= w$ গ্রাম

কঠিন বস্তুর ভর $= m_1$ গ্রাম

,, ,, আপেক্ষিক তাপ $= s_1$

গৃহীত তরলের ভর $= m_2$ গ্রাম

,, ,, আপেক্ষিক তাপ $= s_2$ গ্রাম

কঠিন বস্তুর প্রারম্ভিক উষ্ণতা $= t_1°$ সে.

তরলের ,, ,, $= t_2°$ সে.

মিশ্রণের উষ্ণতা $= t°$ সে.

সুতরাং, ক্যালরিমিটার ও তরলের দ্বারা গৃহীত তাপ

$= (w + m_2 s_2)(t - t_2)$ ক্যালরি

এবং কঠিন বস্তু দ্বারা বর্জিত তাপ $= m_1 s_1 (t_1 - t)$ ক্যালরি

কিন্তু গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

$$\therefore \quad (w + m_2 s_2)(t - t_2) = m_1 s_1 (t_1 - t)$$

এই সূত্রে s_1 এবং s_2 ইহাদের মধ্যে যে কোনও একটির মান দেওয়া থাকিলে অপরটির মান নির্ণয় করা যাইতে পারে।

প্রণালীর ত্রুটি : জলসম নির্ণয়ের প্রণালীতে যে সকল ত্রুটির কথা বলা হইয়াছে এই প্রণালীরও তাহাই ত্রুটি।

উদাহরণ 1. একটি ক্যালরিমিটারে 40 গ্রাম জল 20° সে. উষ্ণতায় ছিল উহার মধ্যে 100° সে. উষ্ণ 22 গ্রাম জল ঢালিয়া দেওয়ায় মিশ্রণের উষ্ণতা 46·7° সে. হইল। ক্যালরিমিটারের জলসম কত ?

মনে করা যাক, ক্যালরিমিটারের নির্ণেয় জলসম $= w$ গ্রাম

তাহা হইলে, ক্যালরিমিটার ও শীতল জল কর্তৃক গৃহীত তাপ

$$=(w+40)(46{\cdot}7-20) \text{ ক্যালরি}$$

এবং উষ্ণ জল কর্তৃক বর্জিত তাপ $=22(100-46{\cdot}7)$ ক্যালরি

কিন্তু গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

$$\therefore \quad (w+40)(46{\cdot}7-20)=22(100-46{\cdot}7)$$

বা, $(w+40)26{\cdot}7=22\times 53{\cdot}3$

বা, $26{\cdot}7w+1068=1172{\cdot}6$

বা, $26{\cdot}7w=1172{\cdot}6-1068=104{\cdot}6$

$$\therefore \quad w=\frac{104{\cdot}6}{26{\cdot}7}=3{\cdot}92$$

∴ নির্ণেয় জলসম = **3·92 গ্রাম**।

উদাহরণ 2. 98° সে. উষ্ণ এবং 10 গ্রাম ভরবিশিষ্ট এক টুকরা মার্বেল একটি ক্যালরিমিটারে গৃহীত 30° সে. উষ্ণতায় 40 গ্রাম তার্পিন তেলের মধ্যে ফেলিয়া দেওয়ায় তরলের উষ্ণতা 36·7° সে. হইল। ক্যালরিমিটারটির জলসম 3 গ্রাম এবং মার্বেলের আপেক্ষিক তাপ 0·22 হইলে, তার্পিন তেলের আপেক্ষিক তাপ কত ?

মনে করা যাক, তার্পিন তেলের আপেক্ষিক তাপ $= s$

প্রশ্নানুসারে,

মার্বেল কর্তৃক বর্জিত তাপ $=10\times{\cdot}22(98-36{\cdot}7)$ ক্যালরি

এবং তার্পিন ও ক্যালরিমিটার দ্বারা গৃহীত তাপ

$$=(40s+3)(36{\cdot}7-30) \text{ ক্যালরি}$$

কিন্তু, বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

সুতরাং, $10\times{\cdot}22(98-36{\cdot}7)=(40s+3)(36{\cdot}7-30)$

বা, $134{\cdot}86=268s+20{\cdot}1$

বা, $268s=114{\cdot}76$

বা, $s=0{\cdot}428$ (প্রায়)

উদাহরণ 3. 200 গ্রাম ওজনের একটি তামার খণ্ডকে 100° সে. উত্তপ্ত করিয়া 25 গ্রাম ওজনবিশিষ্ট একটি ক্যালরিমিটারের মধ্যে 10° সে. উষ্ণতায় অবস্থিত 100 গ্রাম তরলের মধ্যে ফেলিয়া দেওয়া হইল। তামা ও তরলের আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে 0·1 ও 0·64 হইলে, তরলের উষ্ণতা কত ডিগ্রী হইবে? [ব্রিস্টল স্কুল]

মনে করা যাক, তরলের নির্ণেয় উষ্ণতা $=t°$ সে.

তাহা হইলে তামার খণ্ডের উষ্ণতাহ্রাস $=(100-t)°$ সে.

এবং ক্যালরিমিটার ও তরলের উষ্ণতাবৃদ্ধি $=(t-10)°$ সে.

সুতরাং, তামার খণ্ডদ্বারা বর্জিত তাপ $=200\times\cdot1(100-t)$ ক্যালরি

ক্যালরিমিটারের জলসম $=25\times\cdot1$ গ্রাম $=2\cdot5$ গ্রাম

∴ ক্যালরিমিটার ও তরল দ্বারা গৃহীত তাপ

$=(2\cdot5+100\times\cdot64)(t-10)$ ক্যালরি

এখন, বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

সুতরাং, $200\times\cdot1\ (100-t)=(2\cdot5+100\times\cdot64)(t-10)$

বা, $2000-20t=66\cdot5t-665$

বা, $-20t-66\cdot5t=-2000-665$

বা, $-86\cdot5t=-2665$

বা, $t=\dfrac{-2665}{-86\cdot5}=30\cdot8$ (প্রায়)

সুতরাং, নির্ণেয় উষ্ণতা $=$ **30·8° সে.**

উদাহরণ 4. 80 গ্রাম ওজনের একটি প্লাটিনাম বলকে একটি চুল্লীর আগুনের উপর কিছুক্ষণ রাখিয়া তারপর উহাকে তুলিয়া 15° সে. উষ্ণ জলের মধ্যে ফেলিয়া দেওয়া হইল। পাত্রের জলসম-সহ জলের ওজন 400 গ্রাম, প্লাটিনামের আপেক্ষিক তাপ ·0365 এবং মিশ্রণের চরম উষ্ণতা 20° সে. হইলে, চুল্লীর তাপাঙ্ক কত ছিল?

প্লাটিনাম বলটি চুল্লীর উপর রাখায় বলটি চুল্লীর উষ্ণতা প্রাপ্ত হইবে। সুতরাং, বলের প্রারম্ভিক উষ্ণতাই চুল্লীর তাপাঙ্ক হইবে।

মনে করা যাক, বলের প্রারম্ভিক উষ্ণতা (বা চুল্লীর তাপাঙ্ক) $=t°$ সে.

মিশ্রণের ফলে বলটির উষ্ণতা $t°$ সে. হইতে 20° সেন্টিগ্রেডে নামিল এবং জল ও ক্যালরিমিটারের উষ্ণতা 15° সে. হইতে 20° সে. উঠিল।

সুতরাং, বল কতৃক বর্জিত তাপ $=80\times\cdot0365(t-20)$ ক্যালরি

এবং ক্যালরিমিটার ও জল কর্তৃক গৃহীত তাপ $=400(20-15)$ ক্যালরি

কিন্তু বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

সুতরাং, $80\times\cdot0365(t-20)=400(20-15)$

বা, $2\cdot92t-58\cdot4=400\times5=2000$

বা, $2\cdot92t=2000+58\cdot4=2058\cdot4$

বা, $t=\dfrac{2058\cdot4}{2\cdot92}=705$ (প্রায়)

∴ নির্ণেয় চুল্লীর তাপাঙ্ক $=$ **705°** সে.

ক্যালরিমিতীয় প্রণালীতে তাপাঙ্ক নির্ণয়ঃ পূর্বোক্ত উদাহরণ 4 হইতে দেখা যাইবে, ক্যালরিমিতীয় প্রণালীতে খুব উচ্চ তাপাঙ্ক নির্ণয় করা যায়। বিশেষভাবে নির্মিত পারদ থার্মোমিটারেও $-39°C$-এর নিম্ন বা $357°C$-এর ঊর্ধ্ব তাপাঙ্ক কোনও উপায়েই মাপা সম্ভব নয়। কিন্তু পূর্বোক্ত উদাহরণে বর্ণিত প্রণালীতে সাধারণ পারদ-থার্মোমিটার ব্যবহার করিয়াই খুব উষ্ণ বস্তুর উষ্ণতা মাপা সম্ভব। ক্যালরিমিতীয় পরীক্ষা ও গণনার সাহায্যে এই উষ্ণতা নির্ণয় করিতে হয়। এই উদাহরণ হইতেই প্রণালীটি বুঝা যাইবে।

সারাংশ

তাপীয় একক (Unit of heat)**:** একক ভরবিশিষ্ট জলের এক ডিগ্রী পরিমাণ উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যতখানি তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে তাপীয় একক বলে। **ক্যালরি (Calorie):** ইহা সি. জি. এস. প্রণালীর তাপীয় একক। **এক গ্রাম জলের এক ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে প্রয়োজনীয় তাপকে এক ক্যালরি বলে।**

ব্রিটিশ তাপীয় একক (British Thermal Unit বা সংক্ষেপে **B. Th. U): এক পাউণ্ড জলের এক ডিগ্রী ফারেনহাইট উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে প্রয়োজনীয় তাপকে এক B. Th. U. বলে।**

উভয় এককে সম্বন্ধ : **1 B. Th. U. = 252 ক্যালরি।**

আপেক্ষিক তাপ : একক ভরের কোনও পদার্থের এক ডিগ্রী পরিমাণ উষ্ণতা পরিবর্তনের জন্য গৃহীত (বা বর্জিত) তাপকে ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলে।

m ভরবিশিষ্ট কোনও বস্তুর আপেক্ষিক তাপ s উষ্ণতা বৃদ্ধি বা উষ্ণতাহ্রাস $t°$ এবং গৃহীত (বা বর্জিত) তাপ **H** হইলে, $\mathbf{H = mst}$

তাপীয় ধারকত্ব (Thermal Capacity): কোনও বস্তুকে 1° পরিমাণ উষ্ণতর করিতে প্রয়োজনীয় তাপকে ঐ বস্তুর তাপীয় ধারকত্ব বলে।

জলসম (Water equivalent): কোনও বস্তু 1° ডিগ্রী পরিমাণ উষ্ণতর হইতে যে তাপ গ্রহণ করে তাহা দ্বারা যতখানি জলকেও 1° ডিগ্রী পরিমাণ উষ্ণতর করা যায় সেই জলকে ঐ বস্তুর জলসম বলে।

কোনও বস্তুর ভর m গ্রাম এবং আপেক্ষিক তাপ s হইলে তাপীয় ধারকত্ব $= ms$ ক্যালরি, এবং জলসম $= ms$ গ্রাম।

আপেক্ষিক তাপের তালিকা

পদার্থ	আপেক্ষিক তাপ	পদার্থ	আপেক্ষিক তাপ
লোহা	·113	জল	1·0
তামা	0·095	কোহল (Alcohol)	0·58
পিতল	0·092	পারদ	0·033
মার্বেল	0·22	প্যারাফিন (তরল)	0·53

পদার্থ	আপেক্ষিক তাপ	পদার্থ	আপেক্ষিক তাপ
সীসা	0·3	তার্পিন	0·43
রূপা	0·056		
কাচ	0·17		

অনুশীলনী

[আপেক্ষিক তাপ দেওয়া না থাকিলে তালিকা দেখিয়া লইতে হইবে। উত্তরে দশমিক আসিলে আসন্ন দ্বিতীয় দশমিক স্থান পর্যন্ত নির্ণয় করিলেই চলিবে।]

1. *What is a Thermal Unit? Define Calorie and B. Th. U. Find the conversion formula between them.*

2. *How many calories of heat will be required to heat 2 kilograms water from 0°C to 50°C?*

3. *2 litres of water being placed on a Bunsen Lamp, its temperature rises from 30°C to its boiling point in 7 minutes. How many calories of heat are entering into water from the burner every minute?*

4. *What is specific heat? Has it any unit? What do you mean by the statement, 'specific heat of copper is 0·1'?*

5. *Specific heat of copper is 0·1. How many calories of heat will be required to raise a ball of copper of mass 50 gm. from 30°C to 100°C? How much heat will be required to raise a lump of copper of mass 2 pounds from the melting point of ice to the boiling point of water?*

6. *A body of mass 50 gm. loses 100 calories of heat in cooling down from 70°C to 50°C. What is the specific heat of the material of the body?*

7. *Define Thermal Capacity and Water Equivalent. Mention the similarities and differences between them. Thermal Capacity of a body is 10 calories; what is its water equivalent? Water equivalent of another body is 2 pounds. What is its Thermal Capacity?*

8. *Describe the method of determining the water equivalent of a calorimeter. A calorimeter contained 42·5 gm. of water at 30°C. 30 gm. of water at 80°C was poured into it when the final temperature of the mixture was 50°C. What*

must be the water equivalent of the calorimeter ? If its mass was 25 gm., what was the specific heat of its material ?

9. *A metal pot was at the room temperature of 22·5°C. 100 gm. of water at 100°C being poured into it, its temperature rose to 97·5°C. What were the water equivalent and thermal capacity of the pot ? How much heat will be required to raise its temperature by 50°C ? If its mass was 30 gm., what was the specific heat of its material ?*

10. *Describe the method of mixture for determining the specific heat of salt. 10 gm. of common salt at 91°C having been immersed in 125 gm. of oil of turpentine (Sp. ht. 0·43) at 13°C, the temperature of the mixture is 16°C ; supposing no loss or gain of heat from without, find the specific heat of common salt.* [কলি., আই. এস্‌সি. 1938]

11. *Supposing you were given a thermometer reading only from 50°C to 100°C and some water, of which the temperature was below 20°C. Describe an experiment showing how without using another thermometer, you could determine roughly the temperature of the water.* [কলি., আই-এস্‌সি 1953]

12. *A copper ball weighing 200 gm. is placed in a furnace for a fairly long time and then removed from the furnace and dropped into 150 gm. of water at 20°C. If the temperature of the water rises to 87·35°C, find the temperature of the furnace, given the sp. ht. of copper = 0 1.*

॥ উত্তর ॥

2. 100,000 ক্যালরি, 3. 20000 ক্যালরি, 5, 350 ক্যালরি, 36 B. Th. U. 6. 0·1. 7. 10 গ্রাম, 2 B. Th. U. 8. 2·5 গ্রাম, 0·1. 9. **3·33** গ্রাম, 3·33 ক্যালরি 167 ক্যালরি, 0·11. **10.** 0·215. **12.** 592·5°C (প্রায়)।

তৃতীয় অধ্যায়

অবস্থা পরিবর্তন

[Change of State]

(কঠিন হইতে তরল)

পদার্থের তিনটি অবস্থা ; কঠিন, তরল ও বায়বীয় বা গ্যাসীয়। অর্থাৎ যে কোনও পদার্থ কঠিন, তরল অথবা গ্যাসীয় বা বাষ্পীয় অবস্থায় থাকিতে পারে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় জল পদার্থটি কঠিন অবস্থায় বরফ, তরল অবস্থায় জল এবং বাষ্পীয়—এই তিন প্রকার অবস্থাতেই থাকে। **কোনও পদার্থের এক অবস্থা হইতে অন্য অবস্থায় পরিবর্তনের নাম অবস্থা পরিবর্তন বা অবস্থান্তর।**

একটি চিনামাটির বেসিনে (porcelain basin) কিছু মোম লইয়া আগুনের উপর ধরিলে কিছুক্ষণের মধ্যেই মোম গলিতে আরম্ভ করে। মোমের পরিবর্তে সীসা বা ন্যাপথলীন লইয়াও দেখা যাইতে পারে। এক্ষেত্রে উত্তাপ পাইয়া মোম, সীসা বা ন্যাপথলীন কঠিন অবস্থা হইতে তরল অবস্থায় রূপান্তরিত হইল। ইহা একপ্রকার অবস্থান্তর এবং ইহার নাম **গলন** (melting)। আবার ঐ তরল মোম বা সীসাকে ঠাণ্ডা হাওয়ায় কিছুক্ষণ রাখিয়া দিলে উহা পুনর্বার কঠিন অবস্থায় ফিরিয়া যাইবে। ইহাও অবশ্যই আর এক প্রকার অবস্থান্তর প্রক্রিয়া এবং ইহার নাম **শিলীভবন** (Solidification) বা কঠিনীভবন। গলন ও শিলীভবনকে পরস্পর বিপরীত প্রক্রিয়া বলা যাইতে পারে।

একটি কেটলিতে কিছু জল লইয়া ঐ জলকে উত্তাপ দিলে জল এক সময় ফুটিতে আরম্ভ করে। আবার খোলা জায়গায় জল বা অন্য তরল রাখিয়া দিলে উহা ধীরে ধীরে বাষ্পে রূপান্তরিত হইয়া বায়ুতে মিশিয়া যায়। এই সকল প্রক্রিয়াতে পদার্থ তরল অবস্থা হইতে বাষ্পীয় অবস্থায় পরিবর্তিত হয়। ইহাদের বলা হয় **বাষ্পায়ন** (vaporisation)। আবার ফুটন্ত জলের কেটলির নল হইতে যে বাষ্প বাহির হইতেছে সেখানে একখানি কাঁসা বা পিতলের থালা ধরিলে থালার গায়ে বাষ্প শীতল হইয়া জলে পরিণত হইবে এবং থালার গা বাহিয়া ফোঁটা ফোঁটা জল গড়াইয়া পড়িবে। এই প্রক্রিয়ায় বাষ্প জলে পরিণত হইতেছে অর্থাৎ বাষ্পীয় অবস্থা হইতে পদার্থ তরল অবস্থায় রূপান্তরিত হইতেছে। সুতরাং ইহাও একপ্রকার অবস্থান্তর প্রক্রিয়া এবং ইহার নাম **ঘনীভবন** বা **তরলীভবন** (Condensation or Liquefaction)। সুতরাং **বাষ্পায়ন** ও তরলীভবনকেও পরস্পরের বিপরীত প্রক্রিয়া বলা যাইতে পারে।

গলন ও শিলীভবন

[Melting and Solidification]

পূর্বের উদাহরণে বলা হইয়াছে, কঠিন বস্তুকে উত্তাপ দিলে উহা ক্রমশ তরলে রূপান্তরিত হয়। কিন্তু উত্তাপ দিলে বস্তুর উষ্ণতাবৃদ্ধি পায়। সুতরাং তরল অবস্থায়

কোনও পদার্থের উষ্ণতা কঠিন অবস্থা হইতে বেশী হইবে বলিয়া মনে হয়। গলা সীসা বা মোম যে গরম তাহা আমরা জানি। আবার নারিকেল তেল গ্রীষ্মকালে তরল থাকে কিন্তু শীতকালে জমিয়া কঠিন হইয়া যায়। শীতপ্রধান দেশে বা উচ্চ পর্বতের চূড়ায় সাধারণ অবস্থায়ই জল জমিয়া কঠিন হইয়া থাকে। সুতরাং দেখা যাইতেছে পদার্থের অবস্থা উহার উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল। কঠিন অবস্থা হইতে তরল অবস্থায় পদার্থের উষ্ণতা সাধারণত বেশী। আবার সেইরূপ তরল অবস্থা হইতে গ্যাসীয় অবস্থায়ও উষ্ণতা সাধারণত বেশী।

পূর্বে মোম লইয়া যে পরীক্ষার কথা বলা হইয়াছে ঐ পরীক্ষায় মোম গলিতে আরম্ভ করিলে গলন্ত মোমের মধ্যে একটি থার্মোমিটারের বাল্‌ব ডুবাইয়া রাখিলে দেখা যাইবে যতক্ষণ মোম গলিতেছে গলন্ত মোমের উষ্ণতা একই আছে। সমস্ত মোম গলিয়া যাওয়ার পরও তাপ প্রয়োগ করিয়া গেলে অবশ্য মোমের উষ্ণতা আরও বাড়িতে থাকিবে। মোম লইয়া যতবারই পরীক্ষা করা যাক না কেন গলন্ত মোমের এই উষ্ণতা সর্বদা একই থাকিবে।

একটি বিকারে (beaker) একখণ্ড বরফ রাখিলে বরফ ধীরে ধীরে গলিতে থাকিবে। বরফ-গলা জলের মধ্যে একটি থার্মোমিটার ডুবাইয়া উহার উষ্ণতা লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যতক্ষণ বরফ গলিতেছে ততক্ষণ বরফ-গলা জলের উষ্ণতা 0° সে. আছে। সমস্ত বরফ গলিয়া না যাওয়া পর্যন্ত ঐ জলের উষ্ণতা 0 সে. থাকিবে।

সীসা বা অন্য ধাতু বা এইরূপ বিভিন্ন পদার্থকে উত্তাপ দ্বারা গলাইবার সময়ে উপযুক্ত থার্মোমিটার দ্বারা উষ্ণতা মাপিলে দেখা যাইবে প্রত্যেক ক্ষেত্রেই এক-একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় পদার্থটির গলন প্রক্রিয়া ঘটিতেছে। অর্থাৎ এই সকল পদার্থের গলন সর্বদা এক-একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় হইয়া থাকে। ঐ উষ্ণতাকে পদার্থটির **গলনাঙ্ক** (Melting point) বলে।

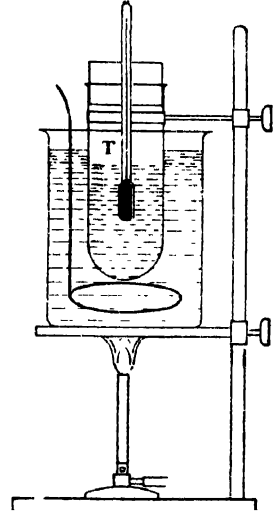
আবার কোনও পদার্থ যে উষ্ণতায় কঠিন হইতে তরলে রূপান্তরিত হয়, ঐ পদার্থের তরল হইতে কঠিনীভবনও সেই উষ্ণতায় হইয়া থাকে। তরল হইতে কঠিন হইবার উষ্ণতাকে বলা হয় **হিমাঙ্ক** (Freezing point) বা **কঠিনাঙ্ক**। বলা বাহুল্য, কোনও পদার্থের গলনাঙ্ক ও কঠিনাঙ্ক (বা হিমাঙ্ক) একই উষ্ণতা।

সংজ্ঞা : যে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোনও পদার্থ কঠিন হইতে তরল বা তরল হইতে কঠিন অবস্থায় রূপান্তরিত হয় তাহাকে ঐ পদার্থের গলনাঙ্ক বা কঠিনাঙ্ক বলে।

[সকল পদার্থের নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক নাই। কেবল কেলাসিত গঠনের (crystalline structure) কঠিন পদার্থেরই নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক থাকিতে দেখা যায়। কাচ, লোহা প্রভৃতি কয়েকটি পদার্থকে কঠিন অবস্থায় গরম করিলে উহারা ক্রমশ অর্ধতরল অবস্থা হইতে ধীরে ধীরে তরল অবস্থায় পরিবর্তিত হইতে থাকে এবং উহাদের উষ্ণতাও বাড়িতে থাকে। তারপর এক সময় পদার্থটি সম্পূর্ণ তরল অবস্থা প্রাপ্ত হয়। ইহাদের অর্ধতরল অবস্থা হইতে সম্পূর্ণ তরলী-

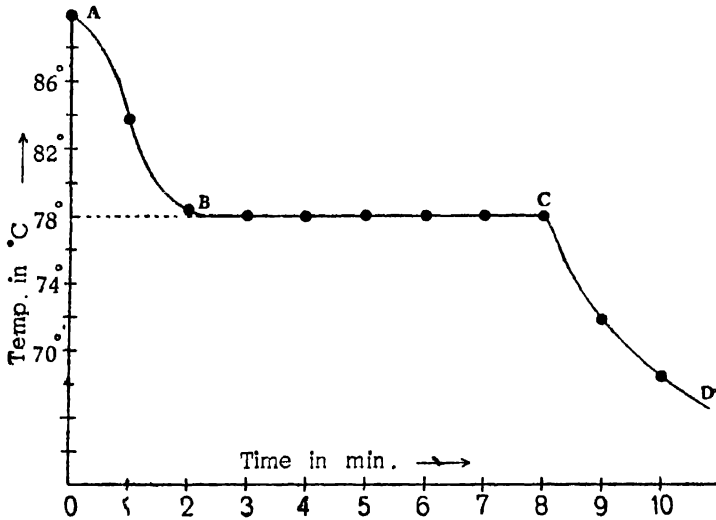
ভবনের মধ্যে একটা উষ্ণতার ব্যবধান দেখা যায়। এই প্রক্রিয়াকে **কাঁচীয় গলন** (Vitreous fusion) বলে।

গলনাঙ্ক নির্ণয়ঃ নিম্নে গলনাঙ্ক নির্ণয়ের একটি প্রণালী বর্ণিত হইল:

ন্যাপথলীনের গলনাঙ্ক নির্ণয় (লেখচিত্র প্রণালী): একটি কাঁচের টেস্টটিউবের প্রায় অর্ধেক তরল ন্যাপথলীন দ্বারা পূর্ণ করিয়া একটি থার্মোমিটারের পারদকুণ্ড ঐ ন্যাপথলীনে ডুবাইয়া রাখা হইল। শীতল আবহাওয়ায় ন্যাপথলীন শীঘ্রই কঠিনীভূত হইবে। এখন ঐ টেষ্টটিউবটি জলপূর্ণ একটি বিকারে ডুবাইয়া নিম্নে ধীরে ধীরে উত্তাপ দেওয়া হইতে লাগিল। মিশ্রকের দ্বারা জল নাড়িয়া উহার উষ্ণতা সর্বত্র সমান রাখা হইতে লাগিল। ক্রমশ থার্মোমিটারের নির্দেশিত তাপাঙ্ক বৃদ্ধি পাইবে এবং ন্যাপথলীন একসময়ে আবার গলিতে আরম্ভ করিবে। দেখা যাইবে যতক্ষণ ন্যাপথলীন গলিতেছে ততক্ষণ থার্মোমিটার দ্বারা নির্দেশিত তাপাঙ্ক স্থির আছে। সমস্ত ন্যাপথলীন গলিয়া যাইবার পর আবার ন্যাপথলীনের উষ্ণতা বাড়িতে থাকিবে।

১৩নং চিত্র : লেখচিত্র প্রণালী

যে উষ্ণতায় প্রায় স্থির থাকিয়া ন্যাপথলীন গলিতেছিল উহাকে মোটামুটি ন্যাপথলীনের গলনাঙ্ক ধরা যাইতে পারে। তরল ন্যাপথলীনের উষ্ণতা গলনাঙ্ক হইতে 10° সে. আন্দাজ বৃদ্ধি পাইলে তাপের উৎসটি সরাইয়া লইতে হইবে। এখন বিকারের জল এবং নলের ন্যাপথলীন ধীরে ধীরে শীতল হইতে থাকিবে এবং সর্বদা মিশ্রকটি ধীরে ধীরে নাড়িয়া এক মিনিট (বা আধ মিনিট) অন্তর থার্মোমিটার দ্বারা নির্দেশিত উষ্ণতার পাঠ লিখিয়া যাইতে হইবে। যথাসময়ে ন্যাপথলীনের কঠিনীভবন শুরু হইবে এবং যতক্ষণ সমস্ত ন্যাপথলীন না কঠিনীভূত হয় ততক্ষণ উষ্ণতা সমান থাকিবে। তারপর আবার উষ্ণতা হ্রাস পাইতে থাকিবে।

এইরূপে গৃহীত পাঠতালিকা (Table) হইতে সময়কে ভুজ ও উষ্ণতাকে কোটি ধরিয়া ছক কাগজে একটি লেখচিত্র আঁকা যাইতে পারে। লেখটি ১৪নং চিত্রের ABCD রেখার মতো হইবে। ইহার BC অংশ ভুজের সহিত সমান্তরাল। অর্থাৎ এই অংশ হইতে দেখা যায় পদার্থটির (এখানে ন্যাপথলীনের) উষ্ণতা অনেকক্ষণ পর্যন্ত একটি তাপাঙ্কে স্থির ছিল। গলনাঙ্কের (বা কঠিনাঙ্কের) সংজ্ঞা অনুসারে এই তাপাঙ্কই আলোচ্য পদার্থের গলনাঙ্ক বা কঠিনাঙ্ক। লেখচিত্রে BC অংশের বরাবর সরলরেখা টানিয়া তাহাকে উষ্ণতা অক্ষ পর্যন্ত বর্ধিত করায় উহা উষ্ণতা-অক্ষকে 78° সে. দাগে ছেদ করিল। অর্থাৎ পদার্থের অবস্থা পরিবর্তনের সময় 78° সেন্টিগ্রেডে তাপাঙ্ক স্থির ছিল। সুতরাং 78° সেন্টিগ্রেডই ন্যাপথলীনের গলনাঙ্ক।

অবস্থা পরিবর্তনের সময় গলনাঙ্কে বা হিমাঙ্কে পদার্থটির উষ্ণতা স্থির থাকে। ইহা লেখচিত্র হইতে স্পষ্ট দেখান যায়। ইহাই লেখচিত্র আঁকিবার সাথকতা। নতুবা উষ্ণতার পাঠতালিকা হইতেই গলনাঙ্ক প্রায় সঠিকভাবে নির্ণয় করা যাইতে পারে।

১৪নং চিত্র : লেখচিত্র হইতে গলনাঙ্ক নির্ণয়

গলনাঙ্ক (বা হিমাঙ্ক) প্রত্যেক পদার্থের একটি বৈশিষ্ট্য অর্থাৎ বিভিন্ন পদার্থের গলনাঙ্ক (বা হিমাঙ্ক) বিভিন্ন। নিম্নে কয়েকটি পদার্থের গলনাঙ্কের একটি তালিকা দেওয়া হইল।

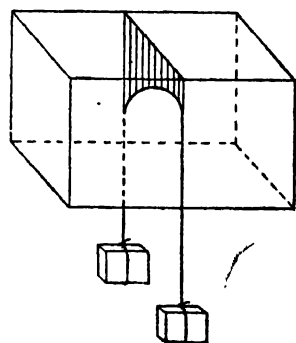
গলনাঙ্কের তালিকা

পদার্থ	গলনাঙ্ক (বা হিমাঙ্ক) °সে.	পদার্থ	গলনাঙ্ক (বা হিমাঙ্ক) °সে.
জল	0°	কাচ	1100°
ন্যাপথলীন	78°	সোনা	1063°
সীসা	327°	রূপা	960°
পারদ	−39°	প্লাটিনাম	1770°
তামা	1083°	এলুমিনিয়ম	660°
লোহা	1527°		

গলনাঙ্কের উপর চাপের ক্রিয়া : প্রত্যেক পদার্থের গলনাঙ্ককে আমরা এক-একটি নির্দিষ্ট তাপাঙ্ক বলিয়া উল্লেখ করিয়াছি। অর্থাৎ আমরা ধরিয়া লইয়াছি গলনাঙ্ক কোনও কিছুর দ্বারাই পরিবর্তিত হয় না। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে গলনাঙ্ক চাপের উপর সামান্য নির্ভর করে। গলনাঙ্কের উপর চাপের ক্রিয়া অনুসারে সমস্ত

পদার্থকে দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যায়। কতকগুলি পদার্থ আছে যাহাদের গলনের সময় আয়তন প্রসারিত হয়, যেমন নারিকেল তেল। এইরূপ পদার্থের উপর কঠিন অবস্থায় চাপ প্রয়োগ করিলে সেই চাপে গলনের পক্ষে প্রতিকূল অবস্থার সৃষ্টি হয়। কারণ চাপ পদার্থের আয়তনকে কমাইতে চাহে কিন্তু আয়তন বৃদ্ধির সুযোগ না থাকিলে এই প্রকার পদার্থ গলিতে পারে না। সুতরাং চাপ প্রয়োগ করিলে এই প্রকার পদার্থের গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। অবশ্য মনে রাখিতে হইবে এই গলনাঙ্ক বৃদ্ধির পরিমাণ খুব সামান্য।

আবার দ্বিতীয় প্রকারের পদার্থগুলি কঠিন হইতে তরল অবস্থায় রূপান্তরিত হইবার সময়ে উহাদের আয়তন হ্রাস পায়। উদাহরণ—জল, লোহা। এইরূপ পদার্থের কঠিন অবস্থায় চাপ প্রয়োগ করিলে চাপের দ্বারা পদার্থটির আয়তন সঙ্কুচিত হইতে চাহে; অতএব ইহার গলনের অনুকূল অবস্থার সৃষ্টি হয়। সুতরাং চাপ প্রয়োগের দ্বারা এই জাতীয় পদার্থের গলনাঙ্ক হ্রাস পায়। অবশ্য এই পরিবর্তনের পরিমাণও খুব সামান্য। উদাহরণস্বরূপ, বরফের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান চাপ বৃদ্ধি করিলে গলনাঙ্ক মাত্র 0·075° সে. হ্রাস পায়।

বটমূলীর বরফ-কাটা পরীক্ষা (Bottomley's Experiment of ice-cutting): এই পরীক্ষাটি হইতে চাপের দ্বারা গলনাঙ্ক হ্রাসের উদাহরণ দেখান যাইতে পারে। একটি বড় বরফের চাঙড় (block) লইয়া উহার দুই প্রান্ত দুইটি টুলের উপর রাখা হইল। একটি সরু তারের দুই প্রান্তে দুইটি ভারী ওজন বাঁধিয়া তারটি বরফের চাঙড়ের উপর রাখা হইল যাহাতে দুইটি ওজন দুই দিকে ঝুলিয়া থাকে। ভারী ওজন দুইটির জন্য সরু তারটি তারের ঠিক নীচের সঙ্কীর্ণ অংশে খুব বেশী চাপ প্রয়োগ করিবে। এই অবস্থায় রাখিয়া দিলে দেখা যাইবে তার বরফ কাটিয়া ক্রমশ নামিয়া যাইতেছে, কিন্তু বরফের যে অংশ ভেদ করিয়া তার নামিয়া যাইতেছে, সেই অংশ পূর্বের মতো জোড়াই আছে। এইরূপে তারটি সমস্ত বরফকে 'কাটিয়া' নামিয়া গেলেও বরফ দুই খণ্ড হইবে না।

১৫নং চিত্র : বরফ-কাটা পরীক্ষা

বরফ সাধারণত 0° সে. উষ্ণতায় থাকে এবং ঐ উষ্ণতাতেই ধীরে ধীরে গলিয়া যায়। কিন্তু বরফের উপর সরু তারটি উহার ঠিক নীচে বিপুল চাপ প্রয়োগ করায় ঐ সঙ্কীর্ণ স্থানের বরফের গলনাঙ্ক 0° সেন্টিগ্রেডের নীচে নামিয়া যায়। সুতরাং ঐ স্থানের বরফ গলনাঙ্কের ঊর্ধ্বে থাকায় উহা গলিয়া যায়, এবং বরফগলা জল ভেদ করিয়া তারটি নীচে নামিয়া যায়। সঙ্গে সঙ্গেই উপরের স্তরের জল হিমাঙ্কে থাকায় আবার জমিয়া কঠিন হইয়া যায়। কিন্তু তারটি আবার নীচের স্তরের বরফে ঠিক ঐরূপেই চাপ প্রয়োগ করে এবং উহাকেও গলাইয়া নীচে নামিয়া যায়। অর্থাৎ তারটি স্তরের পর স্তর বরফ গলাইয়া নীচে চলিয়া যায়, এবং উপরের স্তরের জল

চাপমুক্ত হইয়া পুনরায় জমিয়া যাইতে থাকে। তারের নীচে বরফ গলিবার জন্য প্রয়োজনীয় লীন তাপ আংশিকভাবে তারের উপরের বরফগলা জল হইতে গ্রহণ করে। উপরের জলও তাপ ছাড়িয়া আবার জমিয়া যায়। এই তাপ তারের ভিতর দিয়া পরিবাহিত হয়। এইজন্য সুপরিবাহী তামার তারে পরীক্ষাটি খুব দ্রুত হয়, এবং লোহার তারে ধীরে ধীরে হয়, কিন্তু কুপরিবাহী সুতা লইয়া পরীক্ষাটি দেখানো যায় না।

পুনঃ-শিলীভবন (Regelation): গলনাঙ্কের নিকটে অবস্থিত কোনও কঠিন পদার্থকে চাপ প্রয়োগে গলাইয়া পুনরায় চাপমুক্ত করিয়া কঠিন অবস্থায় আনয়ন করার প্রক্রিয়াকে **পুনঃ-শিলীভবন** বলে। পূর্বে বর্ণিত বটম্‌লীর পরীক্ষার 0° সেন্টিগ্রেডে অবস্থিত বরফকে তারের চাপে গলান হইল। কিন্তু তার নীচে নামিয়া যাইবার পরই উপরে চাপমুক্ত জল পুনর্বার বরফে পরিণত হইল, সুতরাং ইহা পুনঃ-শিলীভবনের একটি উদাহরণ। এই প্রক্রিয়ার আরও কয়েকটি উদাহরণের বিষয় এখানে উল্লেখ করা হইতেছে।

দুই খণ্ড বরফ হাতে লইয়া পরস্পরের সহিত সংলগ্ন করিয়া জোরে চাপ দিয়া ছাড়িয়া দিলে টুকরা দুইটি একটি বড় টুকরায় পরিণত হয়। বরফের খণ্ড দুইটি যে তলে পরস্পরকে স্পর্শ করিয়াছে সেইখানে প্রবল চাপ পড়ায় উভয় খণ্ডেরই তলের সামান্য পাতলা স্তর গলিয়া যায়। কিন্তু আবার চাপমুক্ত করিয়া দিলেই ঐ জল পুনঃ-শিলীভবনের জন্য জমিয়া যায় এবং দুইটি খণ্ড সংলগ্ন হইয়া একটি বড় খণ্ডে পরিণত হয়। এই প্রণালীতেই পাম্বাবরফ এবং স্নো-বল তৈয়ারি করা হয়।

পাম্বাবরফ: গ্রীষ্মকালের দিনে ফেরিওয়ালারা রাস্তায় পাম্বাবরফ বিক্রয় করে। একখণ্ড বরফকে একটি কাপড়ের টুকরার মধ্যে লইয়া হাতুড়ির দ্বারা চূর্ণ করা হয়। তারপর ঐ বরফচূর্ণের মধ্যে একটি কাঠির একপ্রান্ত প্রবেশ করাইয়া কাপড়ের টুকরাটির ভিতরে বরফচূর্ণগুলি দুইহাত দিয়া চাপ দিয়াই চাপমুক্ত করা হয়। ইহাতে বরফচূর্ণগুলি ডেলা বাঁধিয়া কাঠির সহিত সংলগ্ন হইয়া যায়। বরফের টুকরাগুলি পরস্পরের সহিত যে তলে সংলগ্ন থাকে প্রবল চাপে সেই তলের একটি পাতলা স্তর গলিয়া যায়, কিন্তু চাপমুক্ত করার সঙ্গে সঙ্গেই ঐ বরফ-গলা জল আবার জমিয়া যায় বা উহার পুনঃ-শিলীভবন হয়। তাহার ফলে টুকরা বরফগুলি পরস্পরের সহিত সংলগ্ন হইয়া একটি বড় ডেলায় পরিণত হয়।

স্নো-বল (Snow-ball): শীতপ্রধান দেশে যখন তুষার পড়ে তখন স্নো-বল তৈয়ারি করা শিশুদের একটি প্রিয় খেলা। তুষার খুব ছোট ছোট বরফের টুকরা ছাড়া আর কিছুই নহে। ঐরূপ একমুঠা তুষার তুলিয়া লইয়া হাতের চাপ দিয়া ছাড়িয়া দিলেই উহারা ডেলা বাঁধিয়া যায়। তারপর ঐ ডেলাটি তুষারের উপর গড়াইয়া দিলে উহার গায়ে ক্রমশ আরও তুষারকণা সংলগ্ন হইতে থাকে এবং ক্রমশ বলটির আকার বড় হইতে থাকে। ইহাও পুনঃ-শিলীভবনের একটি উদাহরণ।

লীন তাপ
[Latent heat]

আমরা সাধারণ অভিজ্ঞতা হইতে জানি তাপ প্রয়োগ করিলে পদার্থের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। কিন্তু গলনক্রিয়ার সময়ে তাপ প্রয়োগ করা সত্ত্বেও পদার্থের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায় না। পদার্থ কঠিন হইতে তরল অবস্থায় পরিবর্তন ঘটাইবার জন্য পদার্থ ঐ তাপ শোষণ করে। কিন্তু ঐ শোষিত তাপের দ্বারা পদার্থের উষ্ণতাবৃদ্ধি হয় না। এইজন্য এইপ্রকার শোষিত তাপকে **গলনীয় লীন তাপ** (Latent heat of Fusion) বলে।

সংজ্ঞা : কঠিন হইতে তরল অবস্থায় পরিবর্তনের সময়ে একক ভরের কোনও পদার্থ উষ্ণতার কোনও পরিবর্তন না ঘটাইয়া (অর্থাৎ গলনাঙ্কে স্থির থাকিয়া) যে তাপ শোষণ করে তাহাকে ঐ পদার্থের গলনীয় লীন তাপ (Latent Heat of Fusion) বলে।

উদাহরণস্বরূপ বলা যাইতে পারে, বরফের গলনীয় লীন তাপ প্রতি গ্রাম-এ **80** ক্যালরি বা **80** ক্যালরি/গ্রাম। ইহার অর্থ শূন্য ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে থাকিয়া প্রতি গ্রাম বরফ জলে পরিণত হইবার জন্য **80** ক্যালরি তাপ শোষণ করে। ইহাকে এইরূপেও প্রকাশ করা যায় :

0° সে. তাপাঙ্কে 1 গ্রাম বরফ+80 ক্যালরি তাপ
=0° সে. তাপাঙ্কে 1 গ্রাম জল।

গলনাঙ্ক নির্ণয়ের লেখচিত্র প্রণালীতে দেখা গিয়াছে তরল হইতে কঠিন অবস্থায় পরিবর্তনের সময়ে পদার্থ তাপ বর্জন করে, কিন্তু তাহা সত্ত্বেও গলনাঙ্কে (বা হিমাঙ্ক) স্থির থাকে। পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে কঠিন অবস্থা হইতে গলনের সময় প্রতি গ্রাম পদার্থ যত তাপ শোষণ করে তরল হইতে কঠিনীভবনের সময়েও প্রতি গ্রাম ঐ পদার্থ ঠিক ততখানি তাপ বর্জন করে। অর্থাৎ এক গ্রাম জল জমিয়া বরফ হইবার পূর্বে 80 ক্যালরি তাপ বর্জন করিবে।

লীন তাপের একক : পূর্বের উদাহরণ হইতে বুঝা যাইতেছে গলনীয় লীন তাপের একক সি. জি. এস. প্রণালীতে ক্যালরি/গ্রাম। ইহাকে 'ক্যালরি প্রতি গ্রাম-এ' পড়িতে হয়। এফ. পি. এস. প্রণালীতে ইহা B Th. U./পাউণ্ড বা B. Th. U. প্রতি পাউণ্ডে।

উদাহরণ 1. বরফের গলনীয় লীন তাপ 80 ক্যালরি/গ্রাম। ইহার মান এফ. পি. এস. এককে কত ?

1 পাউণ্ড = 453·6 গ্রাম এবং 1 B. Th. U.=252 ক্যালরি

এখন প্রশ্নানুসারে

1 গ্রাম বরফ গলাইতে প্রয়োজন 80 ক্যালরি

∴ 453·6 গ্রাম (বা 1 পাউণ্ড) ,, ,, $80 \times 453 \cdot 6$,,

বা $\frac{80 \times 453 \cdot 6}{252}$ B. Th. U. বা 144 B. Th. U.

সুতরাং নির্ণেয় লীন তাপ= **144** B. Th. U./পাউণ্ড।

উদাহরণ 2. বরফের গলনীয় লীন তাপ 80 ক্যালরি/গ্রাম। 2·5 কিলোগ্রাম বরফকে গলাইতে কত ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হইবে ?

2·5 কিলোগ্রাম = 2500 গ্রাম

1 গ্রাম বরফ গলাইবার জন্য প্রয়োজন 80 ক্যালরি তাপ

∴ 2500 গ্রাম " " " " 80×2500 " "

বা **200000** ক্যালরি

উদাহরণ 3. বরফের গলনীয় লীন তাপ 144 B. Th. U./পাউণ্ড। 5 পাউণ্ড বরফকে গলাইতে কত B. Th. U. তাপ লাগিবে ?

1 পাউণ্ড বরফ গলাইতে লাগে 144 B. Th. U. তাপ

∴ 5 " " " " 144×5 B. Th. U. "

বা, **720** B. Th. U.

উদাহণ 4. 0° সে. তাপাঙ্কে অবস্থিত 30 গ্রাম বরফকে 25° সে. উষ্ণ জলে পরিণত করিতে মোট কত ক্যালরি তাপ লাগিবে ?

0° সে. উষ্ণতায় থাকিয়া কেবল গলিবার জন্য 30 গ্রাম বরফ 30×80 ক্যালরি বা 2400 ক্যালরি তাপ গ্রহণ করিবে।

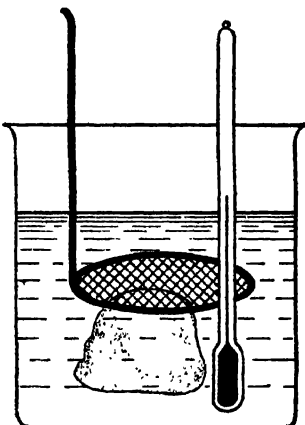
এখন 0° সে. উষ্ণতায় 30 গ্রাম জল হইল। ইহা 25° সে. উষ্ণতায় উঠিতে আরও 30×25 ক্যালরি বা 750 ক্যালরি তাপ গ্রহণ করিবে।

∴ মোট গৃহীত তাপ = (2400 + 750) ক্যালরি

বা **3150** ক্যালরি

বরফের গলনীয় লীন তাপ নির্ণয়

প্রথম প্রণালী: প্রণালীতে গলনীয় লীন তাপ নির্ণয় করা যাইতে পারে। (1) একটি তামার ক্যালরিমিটারকে ওজন করিয়া উহার মধ্যে কিছু জল লইয়া আবার জলসহ ওজন করা হয়। (2) ঐ জলকে দীপের উপর মৃদু উত্তাপ দিয়া উহার উষ্ণতা আবহাওয়ার উষ্ণতা হইতে 5° সে. আন্দাজ বৃদ্ধি করা হয়। (3) একটি থার্মোমিটার ঐ জলে ডুবাইয়া ঐ থার্মোমিটার দ্বারা উষ্ণ জলের প্রাথমিক উষ্ণতার পাঠ লওয়া হয়। (4) এখন এক টুকরা বরফ লইয়া ব্লটিং কাগজের দ্বারা উহার গায়ে সংলগ্ন গলা জল মুছিয়া লইয়া বরফের টুকরাটি ক্যালরিমিটারের জলে ফেলিয়া সঙ্গে সঙ্গে মিশ্রক দ্বারা জল নাড়িয়া যাওয়া হয় এবং থার্মোমিটারের পারদসূত্রের উপর সর্বদা নজর রাখা হয়। [বরফ জলে ভাসিয়া উঠে এইজন্য এই পরীক্ষায় ব্যবহৃত মিশ্রকটি বিশেষ ভাবে নির্মিত। ইহার নীচের

১৬নং চিত্র : বরফের গলনাঙ্ক নির্ণয়

আংটাটির সহিত একটি তারের জাল সংলগ্ন থাকে। উহা দ্বারা বরফের টুকরাটি চাপিয়া সর্বদা জলে নিমজ্জিত রাখা হয়।] (5) সমস্ত বরফ গলিয়া গেলে জলের যে সর্বনিম্ন উষ্ণতা পাওয়া যায় তাহার পাঠ লওয়া হয়। (6) শেষে আবার জলসহ ক্যালরিমিটার ওজন করা হয়।

গণনা : মনে করা যাক, ক্যালরিমিটারের ওজন $= m_1$ গ্রাম

উহার উপাদানের আপেক্ষিক তাপ $= s_1$

গৃহীত জলের ওজন $= m_2$ গ্রাম

,, বরফের ,, $= \mathrm{M}$,,

বরফের গলনীয় লীন তাপ $= \mathrm{L}$ ক্যালরি/গ্রাম

জলের প্রাথমিক উষ্ণতা t_1°C এবং বরফ গলিবার পর মিশ্রণের উষ্ণতা t_2°C ; তাহা হইলে, জল ও ক্যালরিমিটার কর্তৃক বর্জিত তাপ

$$= (m_1 s_1 + m_2)(t_1 - t_2) \text{ ক্যালরি ;}$$

বরফ কর্তৃক 0° সে. উষ্ণতায় কেবল গলিবার জন্য গৃহীত তাপ $= \mathrm{ML}$ ক্যালরি এবং বরফ-গলা জল কর্তৃক 0° সে. হইতে t_2° সে. পর্যন্ত উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য গৃহীত তাপ

$$= \mathrm{M}(t_2 - 0) \text{ বা } \mathrm{M}t_2 \text{ ক্যালরি}$$

অর্থাৎ বরফ কর্তৃক মোট গৃহীত তাপ $= (\mathrm{ML} + \mathrm{M}t_2)$ ক্যালরি

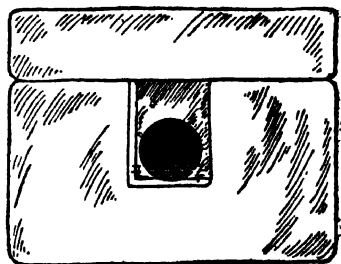
কিন্তু, গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

$$\therefore \quad \mathrm{ML} + \mathrm{M}t_2 = (m_1 s_1 + m_2)(t_1 - t_2)$$

$$\text{বা,} \quad \mathrm{ML} = (m_1 s_1 + m_2)(t_1 - t_2) - \mathrm{M}t_2$$

$$\text{বা,} \quad \mathrm{L} = \frac{(m_1 s_1 + m_2)(t_1 - t_2)}{\mathrm{M}} - t_2$$

এই সূত্র হইতে Lএর মান নির্ণয় করা যাইবে।

দ্বিতীয় প্রণালী : ব্ল্যাকের বরফ ক্যালরিমিটার (Black's Ice Calorimeter) **:** একখণ্ড বড় এবং পুরু বরফের চাঙড়ের মাঝখানে একটি ছোট গর্ত করিয়া লইলেই ব্ল্যাকের বরফ ক্যালরিমিটার প্রস্তুত হইল। একটি খুব গরম ধাতুর বলকে বরফের খণ্ডটির উপরে কিছুক্ষণ রাখিলেই এইরূপ গর্ত উৎপন্ন হইবে। গর্তটির উপরে ঢাকা দিবার জন্য আর এক খণ্ড ছোট বরফের প্রয়োজন হইবে।

১৭নং চিত্র : ব্ল্যাকের বরফ ক্যালরিমিটার

প্রণালী : (1) একটি তামার বলকে স্টীমহিটারে (steam heater) রাখিয়া গরম করা হইল। বলের সংলগ্ন থার্মোমিটার হইতে উহার উষ্ণতার পাঠ লওয়া হইল। (2) এইবার ব্ল্যাকের ক্যালরিমিটারের গর্তটি ব্লটিং কাগজ

দ্বারা ভালো করিয়া মুছিয়া লওয়া হইল যেন উহার ভিতরে এক ফোঁটাও জল না থাকে। (3) তারপর বলটি হিটার হইতে সরাইয়া তৎক্ষণাৎ ঐ গর্তের মধ্যে ফেলিয়া উপরের বরফের চাকাটি দ্বারা ঢাকিয়া দেওয়া হইল। বল হইতে তাপ গ্রহণ করিয়া বরফ গলিতে থাকিবে।

যেহেতু যথেষ্ট বরফ রহিয়াছে সুতরাং সমস্ত বরফ গলিবার কোনও সম্ভাবনা নাই। অতএব বরফ-গলা জলের উষ্ণতা 0° সেন্টিগ্রেডেই থাকিবে। এইরূপে যতক্ষণ বলটিরও উষ্ণতা 0° সে. না হইবে ততক্ষণ বরফ গলিবে। বেশ কিছুক্ষণ অপেক্ষা করা হইল যাহাতে বলটির উষ্ণতাও 0° সে. হইয়াছে এই সম্বন্ধে নিশ্চিত হওয়া যায়। তারপর উপরের চাকাটি তুলিয়া লইয়া গর্তের মধ্যে সঞ্চিত জলটুকু একটি পিপেটের সাহায্যে শুষিয়া তুলিয়া লইয়া যথাসম্ভব নির্ভুলভাবে উহার ওজন লওয়া হইল।

গণনা : মনে করা যাক্, হিটারে অবস্থিত বলের চরম উষ্ণতা $= t^\circ C.$

বলের ওজন $= m$ গ্রাম

বলের ধাতব উপাদানের আপেক্ষিক তাপ $= s$

গলিত জলের ওজন $=$ M গ্রাম

বরফের গলনীয় লীন তাপ $=$ L ক্যালরি/গ্রাম

সুতরাং, বল কর্তৃক বর্জিত তাপ $= ms\,(t - 0^\circ)$ ক্যালরি

$= mst$,,

এবং বরফ কর্তৃক গৃহীত তাপ $=$ ML ক্যালরি

কিন্তু গৃহীত তাপ $=$ বর্জিত তাপ

$\therefore$ ML $= mst$

এই সূত্র হইতে L-এর মান নির্ণয় করা যাইতে পারে।

দ্রষ্টব্য : বরফের গলনীয় লীন তাপ জানা থাকিলে এই পরীক্ষার সাহায্যে বলের ধাতব উপাদানের আপেক্ষিক তাপ অথবা হিটার বা অন্য কোনও চুল্লীর উষ্ণতাও নির্ণয় করা যাইতে পারে।

উদাহরণ 5. 40° সে. উষ্ণ 55 গ্রাম জলের মধ্যে 0° সেন্টিগ্রেডে অবস্থিত 5 গ্রাম বরফ ফেলিয়া দেওয়া হইল। সমস্ত বরফ গলিয়া যাইবার পর মিশ্রণের সর্বনিম্ন উষ্ণতা 30° সে. হইল। বরফের গলনীয় লীন তাপ কত?

মনে করা যাক্, বরফের গলনীয় লীন তাপ $=$ L ক্যালরি/গ্রাম

তাহা হইলে, বরফ কর্তৃক গৃহীত তাপ $= 5L + 5\,(30 - 0)$

বা, $5L + 150$ ক্যালরি

এবং উষ্ণ জল কর্তৃক বর্জিত তাপ $= 55\,(40 - 30)$ ক্যালরি

$= 550$ ক্যালরি

এখন গৃহীত তাপ $=$ বর্জিত তাপ

$\therefore \quad 5L + 150 = 550$

বা, $\quad 5L = 550 - 150 = 400$

বা, $\quad L = \frac{400}{5} = 80.$

$\therefore$ নির্ণেয় লীন তাপ = **80** ক্যালরি/গ্রাম

উদাহরণ 6 3 গ্রাম জলসমবিশিষ্ট একটি ক্যালরিমিটারে 45° সে. উষ্ণ 37 গ্রাম জল আছে। উহার মধ্যে 0° সে. তাপাঙ্কে অবস্থিত 4 গ্রাম বরফ ফেলিয়া দিলে মিশ্রণের সর্বনিম্ন উষ্ণতা কত হইবে? বরফের গলনীয় লীন তাপ = 80 ক্যালরি/গ্রাম।

মনে করা যাক্, মিশ্রণের নির্ণেয় সর্বনিম্ন উষ্ণতা = t°C.

তাহা হইলে, ক্যালরিমিটার ও উষ্ণ জল কর্তৃক বর্জিত তাপ

$= (37+3)(45-t)$ ক্যালরি

$= 40\ (45-t)$ ক্যালরি

এবং বরফ কর্তৃক গৃহীত তাপ $= (4 \times 80 + 4 \times t)$ ক্যালরি

কিন্তু গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

সুতরাং, $4 \times 80 + 4t = 40\ (45-t).$

বা, $\quad 320 + 4t = 1800 - 40t$

বা, $\quad 44t = 1800 - 320 = 1480$

বা, $\quad t = \frac{1480}{44} = 33{\cdot}6$ (প্রায়)

$\therefore$ নির্ণেয় উষ্ণতা = **33·6** সে.

উদাহরণ 7. 20° সে. উষ্ণ 40 গ্রাম জলের মধ্যে 12 গ্রাম বরফ মিশাইবার ফল কি হইবে? (বরফের গলনীয় লীন তাপ = 80 ক্যালরি/গ্রাম)।

এইরূপ প্রশ্নে সমস্ত বরফ গলিয়া যাইবে কিনা তাহা আগে হিসাব করিয়া দেখিতে হইবে। বরফ 0° সে. উষ্ণতায় আছে। জলও 0° সে. পর্যন্ত নামিতে পারে এবং এইরূপ নামিবার সময়ে বর্জিত তাপ দ্বারা বরফ গলিবে।

20° সে. হইতে 0° সে. তাপাঙ্কে নামিবার পূর্বে জল কর্তৃক বর্জিত তাপ $= 40 \times 20$ ক্যালরি = 800 ক্যালরি; কিন্তু 12 গ্রাম বরফ গলাইবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $= 12 \times 80$ ক্যালরি বা 960 ক্যালরি।

সুতরাং সম্পূর্ণ বরফ গলিবে না।

800 ক্যালরি তাপ দ্বারা $\frac{800}{80}$ গ্রাম বা 10 গ্রাম বরফ গলিবে এবং 0° সে. উষ্ণতায় 10 গ্রাম জলে পরিণত হইবে।

সুতরাং, মিশ্রণের ফলাফল এইরূপ হইবে :

$(40+10)$ গ্রাম বা 50 গ্রাম জল
এবং $(12-10)$ গ্রাম বা 2 গ্রাম বরফ } উভয়ই 0° সে. তাপাঙ্কে অবস্থিত

উদাহরণ 8. -10° সে. তাপাঙ্কে অবস্থিত 15 গ্রাম বরফকে 30° সে. তাপাঙ্কে অবস্থিত জলে পরিণত করিতে কত ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হইবে? [বরফের আপেক্ষিক তাপ = 0·5 এবং গলনীয় লীন তাপ = 80 ক্যালরি/গ্রাম]

প্রথমত, 15 গ্রাম বরফের -10° সে. হইতে 0° সে. তাপাঙ্কে উঠিতে প্রয়োজনীয় তাপ $=15\times\cdot5\times10$ ক্যালরি $=75$ ক্যালরি

দ্বিতীয়ত, 0° সেন্টিগ্রেডেই 15 গ্রাম বরফ গলাইবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $=15\times80$ ক্যালরি $=1200$ ক্যালরি

তৃতীয়ত, ঐ 15 গ্রাম জলকে 0° সে. হইতে 30° সে. উষ্ণতায় তুলিবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $=15\times30$ ক্যালরি $=450$ ক্যালরি

সুতরাং, মোট প্রয়োজনীয় তাপ $=(75+1200+450)$ ক্যালরি

$=$ **1725** ক্যালরি

উদাহরণ 9. মোমের গলনাঙ্ক 56° সে. গলনীয় লীন তাপ 20 ক্যালরি/গ্রাম এবং কঠিন অবস্থায় আপেক্ষিক তাপ $=0\cdot3$ হইলে 26° সে. উষ্ণতায় অবস্থিত 30 গ্রাম মোমকে ঠিক সম্পূর্ণ গলাইতে কত ক্যালরি তাপ লাগিবে?

প্রথমত, মোমকে 26° সে. হইতে 56° সে. পর্যন্ত তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপ

$=30\times0\cdot3\times(56-26)$ ক্যালরি $=270$ ক্যালরি

দ্বিতীয়ত, 56° সে. উষ্ণতায় (অর্থাৎ গলনাঙ্কে) ঐ মোমকে গলইবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $=30\times20=600$ ক্যালরি

সুতরাং, মোট প্রয়োজনীয় তাপ $=(270+600)$ ক্যালরি বা **870** ক্যালরি

দ্রবণের হিমাঙ্ক (Freezing point of a solution): কোনও তরলের হিমাঙ্ক অপেক্ষা ঐ তরলে কোনও কঠিন পদার্থ দ্রবীভূত করিয়া উৎপন্ন দ্রবণের হিমাঙ্ক কম হইয়া থাকে। উদাহরণস্বরূপ জলের হিমাঙ্ক 0° সে, কিন্তু জলে সাধারণ লবণ (common salt) মিশাইয়া দ্রবণ প্রস্তুত করিলে তাহার হিমাঙ্ক 0° সেন্টিগ্রেডের অনেক নীচে হয়। জল ও লবণের লঘু (dilute) দ্রবণ লইয়া তাহার উষ্ণতা ক্রমাগত হ্রাস করিয়া গেলে, প্রথমে শুধু জলই কঠিনীভূত হইয়া বরফের কেলাসের (Crystals) আকারে বাহির হইবে। ইহাতে ক্রমশ দ্রবণের গাঢ়তা (Concentration) বৃদ্ধি পাইবে এবং শেষ পর্যন্ত দ্রবণটি সম্পৃক্ত (Saturated) হইবে। সম্পৃক্ত হইবার পর লবণ ও জল একই সঙ্গে জমিয়া কেলাসিত (crystallised) হইতে থাকিবে। এই অবস্থায় দ্রবণের উষ্ণতাই এই প্রকার মিশ্রিত পদার্থের সর্বনিম্ন উষ্ণতা। ইহাকে গৃহীত মিশ্রণের **হিম-দ্রবাঙ্ক** (Cryohydric point) বলে। ইহাকে Eutectic point-ও বলে। জল ও সাধারণ লবণের দ্বারা উৎপন্ন দ্রবণের হিম-দ্রবাঙ্ক -22° সে.

হিম-মিশ্রণ

[Freezing Mixture]

তরলের মধ্যে কঠিন পদার্থের দ্রবীভবনকে ঐ কঠিন পদার্থের গলনেরই অনুরূপ ক্রিয়া হিসাবে মনে করা যায়। কিন্তু কঠিন পদার্থ গলিবার সময় গলনীয় লীন তাপ শোষণ করে। সুতরাং দ্রবীভবনের সময়েও কঠিন পদার্থের পক্ষে তাপ শোষণ করা স্বাভাবিক। দ্রবীভবনের সময়ে এইরূপে তাপ শোষণের

জন্য দ্রবণের উষ্ণতা হ্রাস হইয়া থাকে। উদাহরণস্বরূপ জলে এমোনিয়াম নাইট্রেট গুলিলে দ্রবণের উষ্ণতা জলের চেয়ে কম হয়।

বরফের টুকরা ও সাধারণ লবণ (common salt) একসঙ্গে মিশাইয়া রাখিলে বরফ-গলা জলে লবণ দ্রবীভূত হয় এবং দ্রবীভূত হইবার সময়ে যে তাপ শোষণ করে তাহা ঐ মিশ্রণ হইতেই গ্রহণ করে। এইরূপে মিশ্রণের উষ্ণতা হ্রাস পাইতে থাকে। তারপর আরও বরফ গলে এবং আরও লবণ উহার মধ্যে দ্রবীভূত হয়। এইভাবে মিশ্রণের উষ্ণতা প্রায় হিম-দ্রবাঙ্কে পৌছায়। এইরূপ মিশ্রণকে **হিম-মিশ্রণ** বলে।

কয়েকটি হিম-মিশ্রণ:

মিশ্রণের উপাদান	সর্বনিম্ন উষ্ণতা বা হিমদ্রবাঙ্ক
বরফ ও সাধারণ লবণ	$-22°$ সে.
বরফ ও এমোনিয়ম ক্লোরাইড	$-16°$ সে.
ক্যালসিয়ম ক্লোরাইড ও বরফ	$-35°$ সে.

লবণ ও বরফের হিম-মিশ্রণটি সহজলভ্যতার জন্য খুব বেশী ব্যবহৃত হইয়া থাকে। এই হিমমিশ্রণের সাহায্যেই আইস-ক্রীম বা **মালাই বরফ** তৈয়ারী হয়। টিনের ছোট ছোট কৌটা বা 'কুলপী'র মধ্যে দুধ, চিনি, ক্ষীর প্রভৃতি ভরিয়া ঐগুলিকে লবণ ও বরফের হিম-মিশ্রণের মধ্যে ডুবাইয়া রাখা হয়। কিছুক্ষণের মধ্যে কুলপীর মধ্যে রাখা তরল জমিয়া কঠিন হইয়া যায়।

॥ সারাংশ ॥

পদার্থের কঠিন, তরল ও বায়বীয় এই তিন অবস্থার যে কোনও এক অবস্থা হইতে অন্য অবস্থায় পরিবর্তনের নাম **অবস্থার পরিবর্তন** (Change of state)। অবস্থার পরিবর্তনের প্রক্রিয়াগুলি নিম্নলিখিতরূপ:

গলন (Fusion or melting): কঠিন হইতে তরল।
শিলীভবন (Freezing or solidification): তরল হইতে কঠিন।
বাষ্পীভবন (Vaporisation): তরল হইতে বাষ্পীয় বা গ্যাসীয়।
ঘনীভবন (Condensation): গ্যাসীয় বা বাষ্পীয় হইতে তরল।
ঊর্ধ্বপাতন (Sublimation): কঠিন হইতে বাষ্পীয় বা গ্যাসীয়।

গলনাঙ্ক বা **হিমাঙ্ক** (Freezing or melting point): কোনও পদার্থ সর্বদা একই উষ্ণতায় কঠিন হইতে তরল বা তরল হইতে কঠিন অবস্থায় রূপান্তরিত হয়। ইহাকেই ঐ পদার্থের গলনাঙ্ক বা হিমাঙ্ক (বা কঠিনাঙ্ক) বলে।

কেলাসিত পদার্থসমূহ যতক্ষণ গলনক্রিয়া চলে ততক্ষণ একই উষ্ণতায় স্থির থাকে। সুতরাং কেবল কেলাসিত পদার্থেরই নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক থাকে। কাঁচ, লোহা প্রভৃতি কতকগুলি পদার্থ কঠিন হইতে প্রথমে অর্ধ-তরল (viscous) ও পরে ক্রমশ তরলে রূপান্তরিত হয় এবং এই প্রক্রিয়ার সময়ে উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়।

গলনাঙ্ক ও চাপ: চাপের দ্বারা গলনাঙ্ক সামান্য পরিবর্তিত হয়। গলনের ফলে যে সকল পদার্থ সঙ্কুচিত হয় চাপ বৃদ্ধি করিলে তাহাদের গলনাঙ্ক

হ্রাস পায়। উদাহরণ—বরফ, লোহা। কিন্তু গলনের সময়ে যে সকল পদার্থ প্রসারিত হয়, চাপ বৃদ্ধি করিলে তাহাদের গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। উদাহরণ—অধিকাংশ পদার্থ।

পুনঃ-শিলীভবন (Regelation): বরফকে চাপ দিলে উহার গলনাঙ্ক হ্রাস পাওয়ায় কিছু বরফ গলিয়া যায়, কিন্তু সঙ্গে সঙ্গে চাপ হ্রাস করিলে আবার সেই জল জমিয়া যায়। ইহাকে পুনঃ-শিলীভবন বলে। এই প্রণালী অনুসারেই পাঞ্জাবরফ ও স্নো-বল (snow-ball) তৈয়ারি হয়।

লীন তাপ (Latent Heat): একক ভরের কোনও কঠিন পদার্থ গলন-ক্রিয়ার সময়ে গলনাঙ্কে স্থির থাকিয়াও যে তাপ শোষণ করে তাহাকে উহার **গলনীয় লীন তাপ** বলে। উদাহরণ—

বরফের গলনীয় লীন তাপ = 80 ক্যালরি/গ্রাম অর্থাৎ 1 গ্রাম বরফ 0° সে. তাপাঙ্কে থাকিয়া জলে পরিণত হইতে 80 ক্যালরি তাপ শোষণ করে। এফ. পি. এস. এককে ইহার মান 144 B. Th. U./পাউণ্ড।

দ্রবণের হিমাঙ্ক: কোনও তরলের হিমাঙ্ক অপেক্ষা ঐ তরলে কোনও কঠিন বস্তু মিশাইয়া প্রস্তুত দ্রবণের হিমাঙ্ক কম। ঐ হিমাঙ্ককে আলোচ্য দ্রবণের **হিম-দ্রবাঙ্ক** (Cryohydric point) বলে।

হিম-মিশ্রণ (Freezing mixture): তরল ও কঠিন বস্তু মিশাইয়া দ্রবণ প্রস্তুত করিবার সময়ে তাপ শোষিত হওয়ার জন্য দ্রবণের উষ্ণতা হ্রাস পায়। এইরূপে উষ্ণতা হ্রাস পাইয়া আলোচ্য মিশ্রণের হিম-দ্রবাঙ্ক পর্যন্ত নামিতে পারে। এই প্রকার মিশ্রণকে হিম-মিশ্রণ বলে। উদাহরণ—বরফ ও সাধারণ লবণের মিশ্রণ; ইহার সর্বনিম্ন উষ্ণতা −22° সে.।

অনুশীলনী

1. *Describe a suitable method for finding the melting point of a solid supplied in a small quantity.*

2. *State and explain the effect of pressure on melting point. What is regelation? Describe an experiment to illustrate regelation.*

3. *Define Latent heat of fusion. What do you mean by the statement, 'Latent heat of fusion of ice is 80 cals/gm.? How many calories of heat will be required to melt 3 kilograms of ice.*

4. *Describe the method for determining the latent heat of fusion of ice. 3·3 gm. of ice at 0 C. are dropped into a calorimeter of water equivalent 3 gm. containing 38 gm. of water at 28°C. After all the ice is melted, final temperature is 20°C. Calculate the latent heat of fusion of ice.*

5. *How much heat will be required to convert 2 pounds of ice at $-20°$C. into water at 30°C. ?*

6. *What will be the final temperature when 5 gm. of ice at 10°C. are mixed with 20 gm. of water at 30°C. sp. ht. of ice=0·5 and latent heat of fusion of ice=80 cals./gm. ?*

[C. U. 1929]

7. *40 gm. of ice at $-16°$C are dropped into water at 0°C. whereupon 4 gm. of ice freeze on the ice. If sp. heat of ice is 0·5, what will be the latent heat of fusion of ice ?*

8. *A copper ball of mass 100 gm. and at a temperature of 96°C. is dropped into a hole in a block of ice whereby 12 gm. of ice melted. What is the latent heat of fusion of ice ? Sp. ht. of copper is 0·1.*

9. *A copper ball of mass 30 gm. is placed in a furnace for a long time and is then removed from it and immediately dropped into the hole of a Black's Ice calorimeter. If 18 3 gm. of ice are melted, what was the temperature of the furnace ? Sp. ht. of Cu=0·1 and latent heat of fusion of ice=80, cals./gm.*

10. *What is a freezing mixture ? Give two examples mentioning the lowest temperature in each case. Why is the temperature of a freezing mixture so low ? How is Ice Cream or Malai Baraf prepared ?*

॥ উত্তর ॥

3. 2,40,000 ক্যালরি, 4. 79·4 ক্যাল/গ্রাম, 5. 108864 ক্যালরি, 6. 7° সে, 7. 80 ক্যাল/গ্রাম, 8. 80 ক্যাল/গ্রাম, 9. 4880 সে.

চতুর্থ অধ্যায়

অবস্থার পরিবর্তন—তরল হইতে গ্যাস

[Change of State—Liquid to Gas]

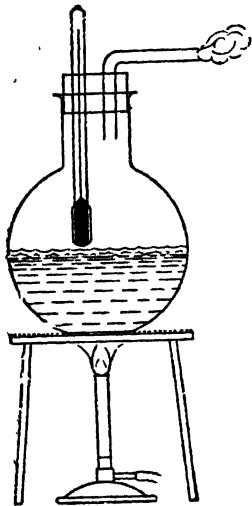
বাষ্পায়ন

[Vaporisation]

কোনও তরলের বাষ্পীয় অবস্থার পরিবর্তনের নাম বাষ্পায়ণ। বাষ্পায়ণ দুই প্রকার হয়: **বাষ্পীভবন** (Evaporation) ও **স্ফুটন** (Boiling or Ebullition)। যে কোনও তরলকে উন্মুক্তস্থানে রাখিলে উহার উপরিতল হইতে তরল সর্বদা ধীরে ধীরে বাষ্পে পরিণত হইতে থাকে। ইহাকে বলে বাষ্পীভবন। ইহার জন্য কোনও নির্দিষ্ট উষ্ণতার প্রয়োজন হয় না। অর্থাৎ, যে কোনও উষ্ণতায়ই **বাষ্পীভবন** ক্রিয়া চলে। এই প্রণালীতেই নদী, সমুদ্র প্রভৃতির জল বাষ্পে পরিণত হয়। আবার কোনও তরলকে উত্তাপ দিতে দিতে ক্রমশ উহার উষ্ণতা বাড়িয়া এক সময় ঐ তরল ফুটিতে থাকে অর্থাৎ দ্রুতবেগে বাষ্পে পরিণত হইতে থাকে। ইহাকে বলে **স্ফুটন**। উদাহরণ, যেমন—কেটলির জল ফোটা। স্ফুটন সর্বদা নির্দিষ্ট উষ্ণতায় হয় এবং ঐ উষ্ণতা তরলের উপর নির্ভর করে। এই অধ্যায়ে প্রথমে স্ফুটনের বিষয় আলোচিত হইবে।

স্ফুটন

[Boiling or Ebullition]

১৮নং চিত্র: স্ফুটন

একটি পাত্রে জল লইয়া আগুনের উপর রাখিলে জল ক্রমশ গরম হইতে থাকে। কিছুক্ষণ পরে জলের মধ্যে বুদ্বুদের আকারের জলীয় বাষ্প জন্মাইয়া জলের উপরিতলে ভাসিয়া উঠে এবং ফাটিয়া যায়। এইরূপে জল দ্রুতবেগে বাষ্পে রূপান্তরিত হইতে থাকে। ইহাকে **স্ফুটন** বা ফোটা বলা হয়। জলের মধ্যে একটি থার্মোমিটার ডুবাইয়া রাখিলে দেখা যাইবে 100° সেন্টিগ্রেডের কাছাকাছি উষ্ণতায় জল ফুটিতে আরম্ভ করে এবং যতক্ষণ স্ফুটন প্রক্রিয়া চলে ততক্ষণ জলের উষ্ণতা (বা উহার উপরের বাষ্পের উষ্ণতা) ঐ তাপাঙ্কেই স্থির থাকে। জল ভিন্ন অন্য যে কোনও তরল লইয়া পরীক্ষা করিলে উহাকেও এইরূপ ফুটিতে দেখা যাইবে, কিন্তু ফুটিবার সময় উহার উষ্ণতা ভিন্ন হইবে। এক

একটি তরলকে এক একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ফুটিতে দেখা যায়। এই উষ্ণতাকে নির্দিষ্ট তরলের **স্ফুটনাঙ্ক** (Boiling point) বলে। সুতরাং **বায়ুর স্বাভাবিক চাপে কোনও তরল যে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ফুটিয়া দ্রুতবেগে বাষ্পে রূপান্তরিত হয়, তাহাকে ঐ তরলের স্ফুটনাঙ্ক বলে।**

বাষ্পায়ণের লীন তাপ

[Latent Heat of Vaporisation]

কোনও তরল যতক্ষণ ফুটিতে থাকে ততক্ষণ তাহার উষ্ণতা স্থির থাকে। নীচে তাপ প্রয়োগ করা হইতেছে, কিন্তু তরলের উষ্ণতা বাড়িতেছে না। তাহা হইলে তরল যে তাপ শোষণ করিতেছে তাহা কোথায় যাইতেছে? তরল হইতে গ্যাসীয় অবস্থায় পরিবর্তিত হইবার জন্য ফুটন্ত তরল সেই তাপ শোষণ করিতেছে। কঠিন পদার্থ গলনের সময়ে যে গলনীয় লীন তাপ শোষণ করে, ইহাও ঠিক সেই রকম। এইজন্য এই প্রকারের শোষিত তাপকে বলা হয় **বাষ্পায়ণের লীন তাপ**। সুতরাং, বাষ্পায়ণের লীন তাপের এইরূপ সংজ্ঞা নির্দেশ করা যায়:

সংজ্ঞা: নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একক ভরের কোনও তরল বাষ্পীয় অবস্থায় রূপান্তরিত হওয়ার জন্য যে পরিমাণ তাপ শোষণ করে তাহাকে ঐ উষ্ণতায় তরলের বাষ্পায়ণের লীন তাপ বলে।

স্ফুটনাঙ্কের লীন তাপকে **স্ফুটনের লীন তাপ** বলে।

উদাহরণস্বরূপ, জলের স্ফুটনের লীন তাপ 536 ক্যালরি/গ্রাম। ইহার অর্থ জল ফুটিবার সময়ে 100° সে. উষ্ণতায় অবস্থিত প্রতি গ্রাম জল বাষ্পে পরিণত হইবার সময়ে 536 ক্যালরি তাপ শোষণ করে, কিন্তু তাহাতে বাষ্পেরও উষ্ণতা 100° সে. থাকে।

গলনীয় লীন তাপের মতো বাষ্পায়ণের লীন তাপও প্রত্যেক পদার্থের একটি বৈশিষ্ট্য। অর্থাৎ এক-একটি পদার্থের বাষ্পায়ণের লীন তাপের এক-একটি নির্দিষ্ট মান আছে।

যখন কোনও বাষ্প তরলে রূপান্তরিত হয় বা ঘনীভূত হয়, তখন উহা তাপ বর্জন করিবে। ইহাকে ঘনীভবনের লীন তাপ বলা যাইতে পারে। বাষ্পায়ণ ও ঘনীভবনের লীন তাপ একই। বাষ্পায়ণের লীন তাপকে 536 ক্যালরি/গ্রাম ধরিলে, প্রতি গ্রাম বাষ্প ঘনীভূত হইয়া জলে পরিণত হইবার পূর্বে 536 ক্যালরি তাপ বর্জন করিবে।

উদাহরণ 1: জলের স্ফুটনের লীন তাপ 536 ক্যালরি/গ্রাম। 100° সে. উষ্ণ 5 গ্রাম জলকে বাষ্পে পরিণত করিতে কত তাপ লাগিবে?

প্রশ্নানুসারে,

100 সে. উষ্ণ প্রতি গ্রাম জলকে বাষ্পে পরিণত করিতে প্রয়োজনীয় তাপ = 536 ক্যালরি।

∴ নির্ণেয় তাপ = 536 × 5 ক্যালরি = **2680** ক্যালরি।

উদাহরণ 2 : 100° সে. উষ্ণ 4 গ্রাম জলীয় বাষ্প 50° সে. উষ্ণ জলে পরিণত হইবার পূর্বে কত তাপ বর্জন করিবে ?

[জলের বাষ্পায়ণের লীন তাপ = 540 ক্যালরি/গ্রাম]

4 গ্রাম বাষ্প জলে পরিণত হইবার পূর্বে 4 × 540 ক্যালরি
বা 2160 ক্যালরি তাপ বর্জন করিবে।

দ্বিতীয়ত, ঐ 4 গ্রাম জল 100° সে. হইতে 50° সে. উষ্ণতায় নামিবার পূর্বে 4 × (100 − 50) ক্যালরি বা 200 ক্যালরি তাপ বর্জন করিবে।

∴ নির্ণেয় মোট তাপ = (2160 + 200) ক্যালরি = **2360** ক্যালরি।

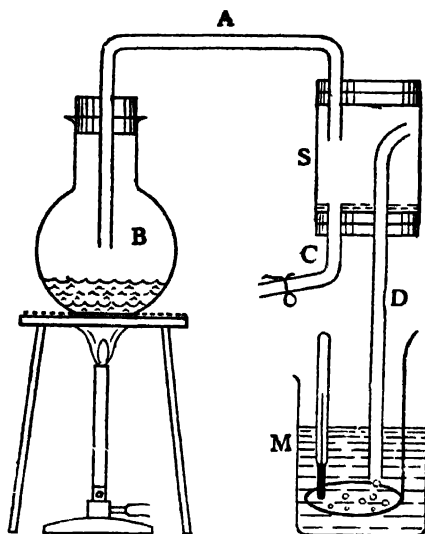
উদাহরণ 3 : 20° সে. উষ্ণ 60 গ্রাম জলের মধ্যে 100° সে. উষ্ণ 2 গ্রাম বাষ্প ঘনীভূত হওয়ায় মিশ্রণের উষ্ণতা 40° সে. হইল। জলের বাষ্পায়ণের লীন তাপ কত ?

মনে করা যাক, নির্ণেয় লীন তাপ = L ক্যালরি/গ্রাম।
তাহা হইলে, 2 গ্রাম বাষ্প কর্তৃক কেবল ঘনীভূত হইয়া 100° সে. উষ্ণ 2 গ্রাম জলে পরিণত হওয়ার জন্য বর্জিত তাপ = 2 × L = 2L ক্যালরি
এবং ঐ 2 গ্রাম জলের 40° সে. তাপাঙ্কে নামিবার পূর্বে
বর্জিত তাপ = 2(100 − 40) ক্যালরি = 120 ক্যালরি
সুতরাং, মোট বর্জিত তাপ = (2L + 120) ক্যালরি
আবার 60 গ্রাম জল কর্তৃক 20° সে. হইতে 40° সে. উঠিবার জন্য
গৃহীত তাপ = 60 (40 − 20) ক্যলরি = 1200 ক্যালরি
কিন্তু বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ
∴ 2L + 120 = 1200
বা, 2L = 1200 − 120 = 1080
∴ L = 540 ; অর্থাৎ নির্ণেয় লীন তাপ = **540** ক্যালরি/গ্রাম

স্ফুটনের লীন তাপ নির্ণয় :

এই প্রণালীতে একটি বড় ফ্লাস্ক B-এর মধ্যে জল ফুটান হইতে থাকে। ঐ ফ্লাস্কের সহিত সংযুক্ত A নলটির অপর প্রান্ত বাষ্প-নিরোধক* (Steam-trap) S-এর মধ্যে নীচে নামিয়া যায়। বাষ্প নিরোধক আসলে একটি দুইমুখ বন্ধ কাঁচের মোটা চোঙ। ফ্লাস্ক হইতে বাষ্প নলের পথে আসিবার সময়ে উহার সহিত ঘনীভূত জলকণা লইয়া আসিলে তাহা বাষ্প-নিরোধকের নীচে জমা হয় এবং C নলের পথে বাহির হইয়া যায়। অপর একটি কাচের নল D-কে বাষ্প-নিরোধকের মধ্যে নীচের কর্কের ছিদ্রপথে প্রবেশ করান হয় এবং উহার উপরের মুখ বেশ উঁচুতে থাকে। নীচে অবস্থিত ক্যালরিমিটার M এর মধ্যে গৃহীত জলে D নলটির নীচের দিক ডুবাইয়া রাখা হয়। ক্যালরিমিটারের জলে একটি থার্মোমিটার ডুবান থাকে।

*ইহাকে জল নিরোধক (work-trap)ও বলা হয়।

প্রণালী 1 : ক্যালরিমিটারটি প্রথমে ওজন করা হয় এবং তারপর উহার মধ্যে অর্ধেকের কিছু বেশী শীতল জল লইয়া আবার ওজন করা হয়। দুইটি ওজনের ব্যবধান হইতে গৃহীত জলের ওজন পাওয়া যায়। জলে নিমজ্জিত থার্মোমিটার হইতে জলের প্রারম্ভিক উষ্ণতার পাঠ লওয়া হয়।

১৯নং চিত্র : স্ফুটনের লীন তাপ নির্ণয়

2. ফ্লাস্কে জল লইয়া নীচে দীপের সাহায্যে তাপ প্রয়োগ করা হয়। ক্রমশ জল ফুটিতে থাকে এবং বাষ্প নিরোধকের নীচে D নলের মুখে জলকণাহীন বাষ্প বাহির হইতে থাকে।

3. D নলটিকে ক্যালরিমিটারের জলে ডুবাইয়া দেওয়া হয় এবং মিশ্রক দিয়া নাড়া হয়।

4. কিছুক্ষণ পরে (জলের উষ্ণতা আন্দাজ 10° সে. বৃদ্ধি পাইলে) বাষ্প-চালনা বন্ধ করা হয় এবং মিশ্রণের উষ্ণতার পাঠ লওয়া হয়।

5. ঠাণ্ডা হইবার পর ঘনীভূত জলসহ ক্যালরিমিটারের ওজন লওয়া হয়।

গণনা : মনে করা যাক্,

ক্যালরিমিটারের জলসম $= w$ গ্রাম
প্রথমে গৃহীত জলের ওজন $= m$ গ্রাম
,, ,, ,, উষ্ণতা $= t_1^\circ$ সে.
মিশ্রণের উষ্ণতা $= t_2^\circ$ সে.
ঘনীভূতের বাষ্পের ওজন $=$ M গ্রাম
স্ফুটনের লীন তাপ $=$ L ক্যালরি/গ্রাম

তাহা হইলে, ক্যালরিমিটার ও জল কর্তৃক গৃহীত তাপ

$$= (w+m)(t_2 - t_1) \text{ ক্যালরি}$$

এবং বাষ্প কর্তৃক ঘনীভূত হওয়া ও 100° সে. হইতে t_2° সে. উষ্ণতায় নামিবার পূর্বে বর্জিত তাপ

$$= ML + M(100 - t_2) \text{ ক্যালরি}$$

কিন্তু বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

$$\therefore \quad ML + M(100 - t_2) = (w+m)(t_2 - t_1)$$

$$\text{বা,} \quad ML = (w+m)(t_2 - t_1) - M(100 - t_2)$$

$$\text{বা,} \quad L = \frac{(w+m)(t_2 - t_1)}{M} - (100 - t_2)$$

এই সূত্র হইতে L-এর মান নির্ণয় করা যাইতে পারে।

[এখানে জলের স্ফুটনাঙ্ক 100° সে. ধরা হইয়াছে। বাতাসের চাপ স্বাভাবিক না হইলে ইহা সামান্য পরিবর্তিত হইবে।

উদাহরণ 4 : −8° সে. তাপাঙ্কে অবস্থিত 2 গ্রাম বরফকে সম্পূর্ণ বাষ্পে পরিণত করিতে কত ক্যালরি তাপ লাগিবে? বরফের বাষ্পের লীন তাপ যথাক্রমে 80 ক্যালরি/গ্রাম এবং 540 ক্যালরি/গ্রাম এবং বরফের আপেক্ষিক তাপ = 0·5.

প্রথমত, বরফের −8° সে. হইতে 0° সে. বা গলনাঙ্ক পর্যন্ত উঠিতে গৃহীত তাপ $= 2 \times \cdot 5 \times 8$ ক্যালরি $= 8$ ক্যালরি

দ্বিতীয়ত, 2 গ্রাম বরফের 0° সে. উষ্ণতায় থাকিয়া 2 গ্রাম জলে পরিণত হইতে গৃহীত তাপ $= 2 \times 80$ ক্যালরি $= 160$ ক্যালরি

তৃতীয়ত, 2 গ্রাম জলের 0° সে. হইতে জলের স্ফুটনাঙ্ক 100° সে. উষ্ণতায় উঠিতে গৃহীত তাপ $= 2 \times 100$ ক্যালরি $= 200$ ক্যালরি

চতুর্থত, 100° সে. উষ্ণ 2 গ্রাম জলের বাষ্পে পরিণত হইতে গৃহীত তাপ $= 2 \times 540$ ক্যালরি $= 1080$ ক্যালরি।

∴ নির্ণেয় মোট তাপ $= (8 + 160 + 200 + 1080)$ ক্যালরি

$= \mathbf{1448}$ ক্যালরি

উদাহরণ 5 : যৎসামান্য জলসমবিশিষ্ট একটি পাত্রে 0° সে. তাপাঙ্কে 40 গ্রাম জল ও কিছু বরফ ছিল। উহার মধ্যে 2 গ্রাম বাষ্প সম্পূর্ণ ঘনীভূত হওয়ায় সমস্ত বরফ গলিয়া মিশ্রণের উষ্ণতা 10° সে. হইল। কত গ্রাম বরফ ছিল? [বরফের ও বাষ্পের লীন তাপ যথাক্রমে 80 ক্যালরি/গ্রাম ও 540 ক্যালরি/গ্রাম]

মনে করা যাক, নির্ণেয় বরফের ভর $= m$ গ্রাম।

তাহা হইলে, বরফ কর্তৃক মোট গৃহীত তাপ $= 80m + 10m$ গ্রাম।

$= 90m$ ক্যালরি

এবং জল কর্তৃক গৃহীত তাপ $= 40 \times 10 = 400$ ক্যালরি

সুতরাং, মোট গৃহীত তাপ $= (90m + 400)$ ক্যালরি

দ্বিতীয়ত, বাষ্প কর্তৃক বর্জিত তাপ $= 2 \times 540 + 2(100 - 10)$

$= 1260$ ক্যালরি

কিন্তু, গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

সুতরাং, $90m + 400 = 1260$

বা, $90m = 1260 - 400 = 860$

বা, $m = \frac{860}{90} = \frac{86}{9}$ গ্রাম $= \mathbf{9{\cdot}56}$ গ্রাম (প্রায়)

বাষ্পীভবন

বাষ্পীভবনের বৈশিষ্ট্য : স্ফুটন ও বাষ্পীভবন একই জাতীয় প্রক্রিয়া অর্থাৎ তরল হইতে বাষ্পীয় অবস্থায় পদার্থের পরিবর্তন। কিন্তু স্ফুটনের সহিত বাষ্পীভবনের কতকগুলি পার্থক্য আছে।

প্রথমত, কোনও তরলের স্ফুটন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় হয়, কিন্তু বাষ্পীভবন যে কোনও উষ্ণতায়ই হইয়া থাকে। অবশ্য উষ্ণতা যত বেশী হয়, বাষ্পীভবনের দ্রুততাও বেশী হয়।

দ্বিতীয়ত, স্ফুটনের সময় তরলের সকল স্তরেই বাষ্পায়ণ প্রক্রিয়া চলে। সেইজন্য তরলের নীচে ছোট ছোট বুদ্‌বুদ্‌ উৎপন্ন হইয়া তাহারা উপরে উঠিবার সময়ে উপরের স্তরের তরলের বাষ্পও উহাদের সহিত মিলিত হয় এবং বুদ্‌বুদের আকার ক্রমশ বড় হয়। কিন্তু বাষ্পীভবনের ক্ষেত্রে কেবল তরলের উপরিতল হইতেই তরল বাষ্পে রূপান্তরিত হয়।

তৃতীয়ত, স্ফুটন একটি অত্যন্ত দ্রুত ও প্রবল প্রক্রিয়া, কিন্তু বাষ্পীভবন একটি ধীর ও মৃদু প্রক্রিয়া অর্থাৎ স্ফুটনের তুলনায় বাষ্পীভবনে তরল পদার্থ অতি ধীরে ধীরে বাষ্পে রূপান্তরিত হয়।

বাষ্পীভবনের উপর বিভিন্ন আনুষঙ্গিক অবস্থার প্রভাব : বাষ্পীভবন ধীর প্রক্রিয়া হইলেও পূর্বের আলোচনা হইতে বুঝা যাইতেছে কোনও তরলের বাষ্পীভবন সর্বদা একই হারে হয় না। কতকগুলি অনুকূল আনুষঙ্গিক অবস্থার উপর বাষ্পীভবনের দ্রুততা নির্ভর করে।

প্রথমত, আবহাওয়ার এবং তরলের উষ্ণতা যত বেশী হয় বাষ্পীভবনও তত দ্রুত হয়। এইজন্য রৌদ্রে জামাকাপড় দ্রুত শুকাইয়া যায়।

দ্বিতীয়ত, তরলের স্ফুটনাঙ্ক যত নীচে হয়, বাষ্পায়ণ তত দ্রুত হয়। অর্থাৎ যে তরলের স্ফুটনাঙ্ক আবহাওয়ার উষ্ণতার যত নিকটবর্তী তাহার বাষ্পীভবনও তত দ্রুত হয়। এইজন্য সরিষার তৈল অপেক্ষা জলের এবং জল অপেক্ষা স্পিরিট বা ঈথরের বাষ্পীভবন দ্রুত বেগে হইয়া থাকে।

তৃতীয়ত, তরলের মুক্ত উপরিতলের বিস্তার যত বেশী হইবে বাষ্পীভবনও তত দ্রুত হইবে। একটি গ্লাস ও একটি থালায় সমান ভরবিশিষ্ট জল ঢালিয়া ঘরের মধ্যে আলমারির উপর বা ঐরূপ কোনও উপযুক্ত স্থানে রাখিয়া দেওয়া হইল। কয়েকদিন পরে দেখা যাইবে থালার জলের পরিমাণ অনেক বেশী হ্রাস পাইয়াছে। থালার জলের মুক্ত উপরিতল গ্লাসের জলের তুলনায় অনেক বিস্তৃত হওয়ায় উহার বাষ্পীভবনও দ্রুতবেগে হইয়াছে।

চতুর্থত, বায়ুর আর্দ্রতা যত কম হইবে অর্থাৎ বায়ু যত শুষ্ক হইবে বাষ্পীভবন তত দ্রুত হইবে। এই কারণে বর্ষাকালের স্যাঁতসেঁতে আবহাওয়া অপেক্ষা শীতকালের শুষ্ক আবহাওয়া বাষ্পীভবনের পক্ষে অনুকূল।

পঞ্চমত. তরলের মুক্ত উপরিতলের সংলগ্ন বায়ু যদি স্থির থাকে তাহা হইলে বাষ্পীভবন তত দ্রুত হয় না, কিন্তু বায়ুতে প্রবাহ থাকিলে বাষ্পীভবন দ্রুত হয়। এই কারণে খোলা হাওয়ায় বা বৈদ্যুতিক পাখার হাওয়ায় ভিজা কাপড় মেলিয়া দিলে, কাপড় তাড়াতাড়ি শুকাইয়া যায়।

বাষ্পীভবনের দ্বারা বস্তুর উষ্ণতা হ্রাস: কোনও তরল বাষ্পীভূত হইবার সময়ে প্রয়োজনীয় লীন তাপ ঐ তরল এবং উহার সংলগ্ন বস্তুসমূহ হইতে গ্রহণ করে। সুতরাং বাষ্পীভবনের সময়ে তরল ও উহার সংলগ্ন বস্তুর তাপ বর্জন করার জন্য উষ্ণতা হ্রাস হয়। প্রতিদিনের নানাবিধ ঘটনার মধ্যে ইহার উদাহরণ পাওয়া যায়। কয়েকটি উদাহরণের কথা এখানে বলা হইল।

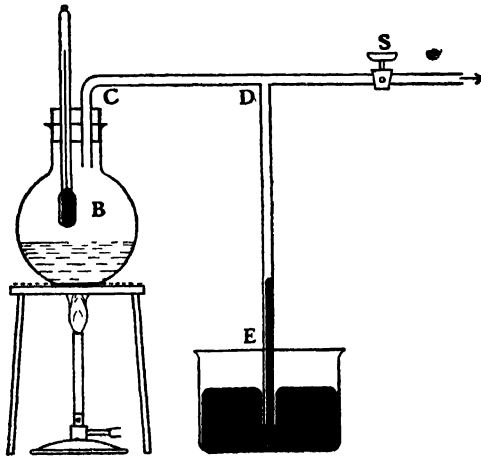
কুঁজা বা **মাটির কলসীতে** জল রাখিলে জল ঠাণ্ডা হয়। ঐ সকল মাটির পাত্রের গায়ে খুব ছোট ছোট ছিদ্র থাকে। ঐ ছিদ্রপথে ভিতরের জল চুঁয়াইয়া সর্বদা বাহিরে আসে এবং বাষ্পীভূত হয়। প্রয়োজনীয় লীন তাপের কতকাংশ জলের পাত্র ও উহার ভিতরের জল হইতে গ্রহণ করে। ইহার ফলে কুঁজার বা কলসীর জল ঠাণ্ডা হয়।

হাতপাখা, বৈদ্যুতিক পাখা চালাইলে শরীর ঠাণ্ডা বোধ হয়। আমাদের শরীর হইতে সর্বদা ঘাম বাহির হইয়া গাত্রচর্মকে সিক্ত অবস্থায় রাখে। অবশ্য, ঘাম কখনও দ্রুতবেগে আবার কখনও বা ধীরে ধীরে বাহির হয়। কিন্তু সর্বদাই চামড়ার উপর কিছু-না-কিছু ঘামের বিন্দু জমিয়া থাকে। হাতপাখা বা বৈদ্যুতিক পাখা দ্বারা আমাদের গাত্রসংলগ্ন বায়ুতে প্রবাহ সৃষ্টি করিলে ঐ ঘামের বিন্দুগুলির দ্রুত বাষ্পীভবন হয়। এই সময় বাষ্পীভবনের লীন তাপ আমাদের শরীর হইতে শোষিত হয়। তাহার ফলেই আমরা শীতলতা অনুভব করি। লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে, বাহির হইতে ঘুরিয়া আসার পরে বা অন্য কারণে যদি শরীরে বেশী ঘাম জমা হয় তাহা হইলে শীতলতাবোধও বেশী হয়।

গরমের দিনে ঘরের দরজা-জানালায় **খসখস** টানাইয়া দেওয়া হয়। খসখসগুলি পিচকারির সাহায্যে জল দ্বারা মাঝে মাঝে ভিজাইয়া দেওয়া হয়। ঐ জল বাষ্পীভূত হইবার সময়ে যে লীন তাপের প্রয়োজন হয় তাহার কিছু অংশ ঘরের বায়ু হইতে গ্রহণ করে। তাহার ফলে ঘর ঠাণ্ডা থাকে।

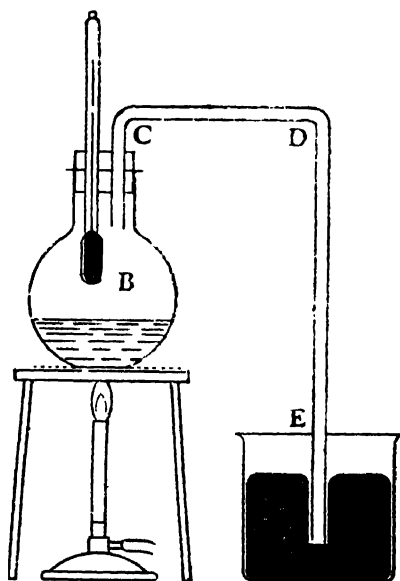
ভিজা কাপড়ে খোলা হাওয়ায় থাকিলে কাপড়ের জলের দ্রুত বাষ্পীভবন হয় এবং ঐ বাষ্পীভবনের লীন তাপ আংশিকভাবে দেহ হইতে শোষিত হয়। এইরূপ দ্রুত তাপ শোষণের ফলে শরীরে শৈত্য বোধ হয়। দীর্ঘ সময় এইভাবে ভিজা কাপড়ে থাকিলে দ্রুত তাপ বর্জনের জন্য ঠাণ্ডা লাগিয়া শরীর অসুস্থ হইতে পারে। বায়ুতে যেদিন প্রবাহ বেশী থাকে সেইদিনই এই প্রকার শৈত্যবোধ বেশী হয়। তাহার কারণ প্রবাহযুক্ত বায়ুতে বাষ্পীভবন দ্রুত হয়।

স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব ঃ আমরা দেখিয়াছি প্রত্যেক তরল একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ফুটিতে থাকে যাহাকে উহার স্ফুটনাঙ্ক বলে। কোনও নির্দিষ্ট তরলের ক্ষেত্রে স্ফুটনাঙ্কও নির্দিষ্ট—এই কথাটি কিন্তু সর্বদা প্রযোজ্য নহে। যতক্ষণ কোনও তরলের উপরে প্রযুক্ত বায়ু ও বাষ্পের চাপ নির্দিষ্ট থাকে ততক্ষণই উহার স্ফুটনাঙ্ক নির্দিষ্ট থাকে। উদাহরণস্বরূপ জলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক 100° সে. ধরা হয়। কিন্তু জল 100° সে. তাপাঙ্কে তখনই ফুটিবে যখন উহার উপরে বায়ু ও বাষ্পের চাপ আবহাওয়ার স্বাভাবিক চাপের সমান অর্থাৎ 76 সে. মি. পারদস্তম্ভের চাপের সমান থাকিবে। পূর্বে যে সকল পরীক্ষার উল্লেখ করা হইয়াছে সেই সকল ক্ষেত্রে ফুটন্ত জলের উপর মুক্ত বায়ুমণ্ডলের চাপই প্রযুক্ত হইয়াছিল। সুতরাং বায়ুর প্রায় স্বাভাবিক চাপেই জল ফুটিয়াছে এবং তাহার স্ফুটনাঙ্ক 100° সে.-এর প্রায় সমান হইয়াছে। কিন্তু উপরিস্থিত চাপের পরিবর্তন করিলে বিভিন্ন চাপে কোনও তরলের স্ফুটনাঙ্ক বিভিন্ন হয়। ইহা দেখাইবার জন্য এখানে কয়েকটি পরীক্ষার বর্ণনা করা হইতেছে।

প্রথম পরীক্ষা ঃ একটি কাচের ফ্লাস্ক B-কে আংশিক জলপূর্ণ করিয়া ছিপি দ্বারা বায়ুনিরুদ্ধভাবে বন্ধ করিয়া দেওয়া হইল। ছিপির দুইটি ছিদ্রপথে একটি থার্মোমিটার এবং একটি কাচের নল C প্রবিষ্ট থাকিবে। থার্মোমিটারের পারদকুণ্ড এবং C নলের খোলা নিম্নপ্রান্ত ফ্লাস্কের জলের কিছু উপরে থাকিবে।

২০নং চিত্র ঃ নিম্ন চাপে স্ফুটন

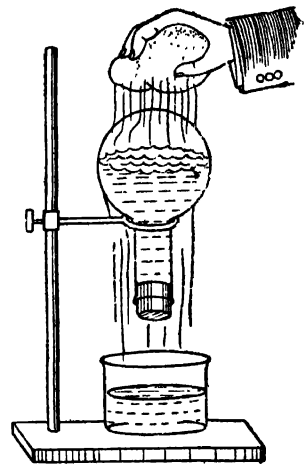
কাচের নলটি সমকোণে বাঁকিয়া অনুভূমিকভাবে অবস্থিত হইবে এবং উহা হইতে একটি শাখানল DE উর্ধ্বাধভাবে নীচে নামিয়া যাইবে। উর্ধ্বাধ নলটির নীচের প্রান্ত E পাত্রের পারদে ডুবিয়া থাকিবে এবং ইহা চাপ নির্দেশক (pressure gauge) হিসাবে কাজ করিবে। অনুভূমিক নলটির শেষ প্রান্তের কাছে একটি স্টপকক্ S থাকিবে এবং প্রয়োজন হইলে এই নলটির শেষ প্রান্ত পাম্পের সহিত সংযুক্ত করা যাইবে।

প্রথমে স্টপককটি খুলিয়া রাখিয়া ফ্লাস্কের নীচে তাপ দেওয়া হইল। কিছুক্ষণ পরে জল ফুটিতে আরম্ভ করিবে। থার্মোমিটারের পারদসূত্র লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে উহা প্রায় 100° সে. নির্দেশ করিতেছে। (সামান্য পার্থক্য থাকিতে পারে, কারণ বায়ুমণ্ডলের চাপ সর্বদা পারদের 76 সে. মি. নাও হইতে পারে।) এখন ফ্লাস্কের নীচের দীপ সরাইয়া লইয়া নলের সহিত বায়ু-নিষ্কাশন পাম্প সংযুক্ত করিয়া ফ্লাস্কের ভিতর হইতে কিছু বায়ু শোষণ করিয়া লওয়া হইল। চাপ-নির্দেশক নলটি লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে ইহার মধ্যে পারদ উপরে উঠিয়াছে। পারদস্তম্ভ যত উপরে উঠিবে ভিতরের চাপও তত কম হইয়াছে বুঝা যাইবে। এখন স্টপককটি বন্ধ করিয়া ফ্লাস্কে আবার ধীরে ধীরে তাপ দেওয়া হইতে লাগিল। জল আবার ফুটিতে আরম্ভ করিলে দেখা যাইবে স্ফুটনাঙ্ক 100° সে. অপেক্ষা কম।

দ্বিতীয় পরীক্ষা: এ ক্ষেত্রেও পূর্বে বর্ণিত পরীক্ষার সরঞ্জামের প্রয়োজন হইবে, কিন্তু চাপনির্দেশক নলটিকে একটু বেশী পরিমাণ পারদে ডুবাইয়া দিতে হইবে। তারপর জল ফুটিতে আরম্ভ করিলে অনুভূমিক নলটির খোলামুখ বায়ু সংনমন (compression) পাম্পের সহিত সংযুক্ত করিয়া ভিতরের চাপ কিছু বাড়াইয়া দেওয়া হইবে। চাপনির্দেশক নলের মধ্যে পারদ নীচে

২১নং চিত্র: উচ্চ চাপে স্ফুটন

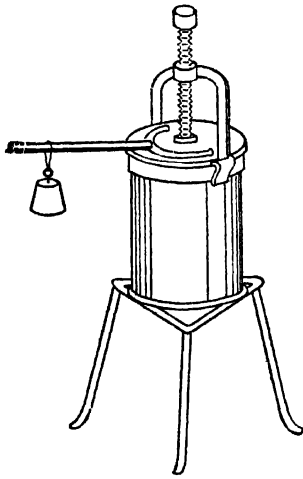
নামিয়া গিয়া ভিতরের চাপবৃদ্ধি নির্দেশ করিবে। যদি জলের স্ফুটন বন্ধ হইয়া যায় তাহা হইলে কিছুক্ষণ তাপ দিলেই আবার জল ফুটিতে আরম্ভ করিবে এখন থার্মোমিটারের পাঠ লইলে দেখা যাইবে জলের স্ফুটনাঙ্ক 100° সে. অপেক্ষা বৃদ্ধি পাইয়াছে।

এই পরীক্ষাটি অন্য ভাবেও করা যায়। এক্ষেত্রে ২১নং চিত্রের মতো CDE নলটিকে লইলেই চলিবে এবং পাম্পের সাহায্যে ফ্লাস্কের ভিতরের চাপ বৃদ্ধি করিতে হইবে না। জল ফুটিতে আরম্ভ করিবার কিছুক্ষণ পরে দেখা যাইবে চাপনির্দেশক নলে পারদ নীচে নামিয়াছে। ইহা নিশ্চয়ই ভিতরের চাপ বৃদ্ধি নির্দেশ করিতেছে। ভিতরে বাষ্প উৎপন্ন হইয়া B ফ্লাস্কের সীমাবদ্ধ স্থানে বেশী বাষ্প জমা হওয়ায় এইরূপ চাপবৃদ্ধি হয়। এখন থার্মোমিটারের নির্দেশিত তাপাঙ্ক লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে উহা 100° সে. অপেক্ষা বেশী।

তৃতীয় পরীক্ষা : এই পরীক্ষাটি বৈজ্ঞানিক ফ্রাঙ্কলিন (Franklin) উদ্ভাবন করিয়াছিলেন। এইজন্য ইহাকে ফ্রাঙ্কলিনের পরীক্ষা বলা হয়। একটি ফ্লাস্ক অর্ধেক জলপূর্ণ করিয়া ঐ জল দীর্ঘ সময় ধরিয়া ফুটান হইল যাহাতে বাষ্পের দ্বারা তাড়িত হইয়া ভিতরের বায়ু অনেকখানি বাহির হইয়া যায়। এখন ফ্লাস্কটিকে আগুনের উপর হইতে সরাইয়া লইয়া ছিপি দ্বারা বন্ধ করিয়া ক্ল্যাম্পের উপর উপুড় করিয়া রাখা হইল। ফ্লাস্কের জল এখন আর ফুটিতেছে না। কিন্তু ফ্লাস্কের উপর শীতল জল ঢালিলেই জল আবার প্রবলবেগে ফুটিতে আরম্ভ করিবে। ফ্লাস্কের ভিতরের 100° সে.-এর নীচে গরম জল ও তাহার উপর আবদ্ধ স্থানে জলীয় বাষ্প আছে। বাহিরে জল ঢালায় শীতল জলের সংস্পর্শে ভিতরের কিছু বাষ্প ঘনীভূত হইল এবং ভিতরের জলের উপরিস্থিত চাপ (superincumbent pressure) হ্রাস পাইল। এই হ্রাসপ্রাপ্ত চাপে জলের উষ্ণতা জল ফুটিবার পক্ষে যথেষ্ট হইতে পারে। তাহার ফলে জল পুনরায় ফুটিতে থাকে।

২২নং চিত্র : ফ্রাঙ্কলীনের পরীক্ষা

উচ্চচাপযুক্ত স্ফুটনপাত্র (High pressure boilers) : বন্ধ পাত্রের মধ্যে তরল রাখিয়া নীচে তাপ প্রয়োগ করিলে তরল প্রথমে স্বাভাবিক উষ্ণতায় ফুটিতে আরম্ভ করে। কিন্তু তরলের উপরিস্থিত আবদ্ধ স্থানে ক্রমশ বাষ্প জমিতে থাকে এবং বাষ্পের চাপ বাড়িতে থাকে। তরলের উপরিস্থিত বাষ্প ও বায়ুর মিলিত চাপ যত বাড়ে, তরলের স্ফুটনাঙ্কও ততবৃদ্ধি পায়, অর্থাৎ তরল তত উষ্ণতর হইতে থাকে। মুখখোলা অর্থাৎ বাহিরের বায়ুর সহিত সংযোগ আছে এইরূপ পাত্রে কোনও তরলকে তাহার স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কের ঊর্ধ্বে তোলা সম্ভব নয়। কিন্তু এইরূপ আবদ্ধ পাত্রে তরলের উষ্ণতা অনেক ঊর্ধ্বে তোলা যাইতে পারে। অবশ্য তরলের স্ফুটনাঙ্কের সহিত উহার বাষ্পের চাপও বৃদ্ধি পাইতে থাকে এবং পাত্রটি যাহাতে ঐ উচ্চ চাপ সহ্য করিতে পারে সেইরূপ উপযুক্ত গঠনের হওয়া উচিত।

বাষ্পীয় ইঞ্জিনের বাষ্পাধার : ইহা প্রকৃতপক্ষে পুরু ইস্পাতের পাতে প্রস্তুত একটি আবদ্ধ বড় স্ফুটনপাত্র। ইহার মধ্যে জল স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কের অনেক ঊর্ধ্বে ফুটিতে থাকে এবং বাষ্পের চাপও খুব প্রবল হয়। এইরূপ প্রবল চাপই রেলগাড়ি, জাহাজ প্রভৃতিকে চালাইবার উপযুক্ত বল প্রয়োগ করিতে পারে।

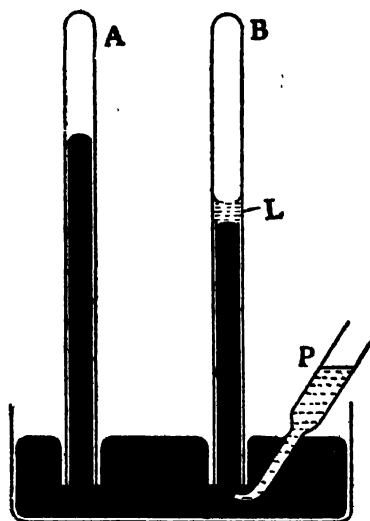
পেপিনের ডাইজেস্টার (Pepin's Digester) **:** ইহা একটি পুরু ইস্পাতের পাতে-প্রস্তুত ছোট আকারের উচ্চচাপযুক্ত স্ফুটনপাত্র। ইহার মধ্যে জল অথবা অন্য তরল লইয়া তাপ প্রয়োগ করিলে পাত্রের মধ্যে তরলের উপরের আবদ্ধ স্থানে তরলের বাষ্প জমিতে থাকে। ক্রমশ বাষ্পের চাপ বৃদ্ধি পায় এবং তাহার ফলে তরলের স্ফুটনাঙ্কও বৃদ্ধি পায়। এইরূপে তরলের উষ্ণতা স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কের অনেক ঊর্ধ্বে উঠিয়া থাকে। পাত্রের ভিতরে বাষ্পের চাপ অতিরিক্ত বাড়িলে বাষ্পাধারটি বিস্ফোরণের সহিত ফাটিয়া যাইতে পারে এবং তাহাতে দুর্ঘটনাও হইতে পারে। সুতরাং বাষ্পের চাপ যাহাতে নিরাপত্তার সীমা অতিক্রম না করে তাহার জন্য একটি ভাল্‌ভ বা একমুখী কপাট দ্বারা বাষ্পাধারের মুখ বন্ধ থাকে। বাষ্পের চাপ যখনই একটা নির্দিষ্ট সীমা অতিক্রম করে তখনই ভাল্‌ভ খুলিয়া কিছু বাষ্প বাহির হইয়া যায় এবং ভিতরের চাপ হ্রাস পায়। চিত্রে প্রদর্শিত ঝুলান ওজনটিকে লোহার দণ্ডের উপর বাম দিকে যত সরাইয়া রাখা যায় ভাল্‌ভের চাপ ধারণের সীমা তত বৃদ্ধি করা যায়। পাত্রের চাপ ধারণের ক্ষমতাকে অতিক্রম না করিয়া ওজনটিকে যতদূর ইচ্ছা সরাইয়া রাখা যায় এবং তাপ দ্বারা ভিতরের বাষ্পের চরম চাপ এবং তরলের স্ফুটনাঙ্কও সেই অনুসারে বৃদ্ধি করা যায়।

২৩নং চিত্র : পেপিনের ডাইজেস্টার

ব্যবহার : পেপিনের ডাইজেস্টার দ্বারা কাগজের মণ্ড প্রস্তুত করা, হাড় ও খুর হইতে শিরীষ বাহির করা প্রভৃতি কাজ করা হইয়া থাকে।

উচ্চচাপযুক্ত রন্ধনপাত্র (Pressure Cooker) **:** ইহা পেপিনের ডাইজেস্টারের মতো গঠনের এবং একই মূলনীতির উপর কাজ করে। খোলামুখ পাত্রে সাধারণত রান্না করা হয়। কি ইহাতে পাত্রের তরলের উষ্ণতা উহার স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কের উর্ধ্বে তোলা যায় না। এইরূপ উষ্ণতার রন্ধনে অনেক সময় লাগে এবং কোন কোনও দ্রব্য সুসিদ্ধ হয় না। সুতরাং বিশেষভাবে প্রস্তুত আবদ্ধ পাত্রে রন্ধন করিলে তরলের উষ্ণতা অনেক বৃদ্ধি করা যায়। এইরূপ রন্ধন পাত্রে অল্প সময়ে রান্না হয়।

উচ্চ পর্বতের উপরে বায়ুর চাপ কম, সুতরাং উন্মুক্ত পাত্রে রাখা তরলের স্ফুটনাঙ্কও কম হইবে। এইজন্য পর্বতের উপর রন্ধন করার অসুবিধা হয়। বিশেষত চা, কফি প্রভৃতি গরম জলে ভিজাইলে উহাদের নির্যাস জলের মধ্যে ভালোভাবে নির্গত হওয়ার জন্য জলের উষ্ণতা অন্তত 100° সে. হওয়া উচিত। কিন্তু উচ্চস্থানে সাধারণ পাত্রে রাখা জলকে এই উষ্ণতায় তোলা সম্ভব নহে। দার্জিলিং, উতকামণ্ড প্রভৃতি শৈলনগরীতে এইরূপ অসুবিধা অনুভূত হয়। এই সকল স্থানে উচ্চচাপযুক্ত রন্ধনপাত্র ব্যবহার করা যাইতে পারে।

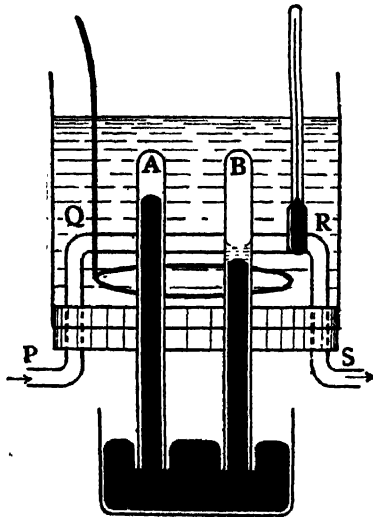
বাষ্পচাপ
[Vapour pressure]

আমরা দেখিয়াছি বায়ু চাপ প্রয়োগ করে। সেইরূপ বাষ্পও চাপ প্রয়োগ করে। টরিসেলীর পরীক্ষার মতো দুইটি একমুখ বন্ধ কাচের নল A ও B-কে পারদপূর্ণ করিয়া একটি পারদপূর্ণ পাত্রের উপর উপুড় করিয়া দিলে দুইটি নলের পারদস্তম্ভ নির্দিষ্ট উচ্চতায় আসিয়া দাঁড়াইবে। এই উচ্চতা 76 সেন্টিমিটারের

২৪নং চিত্র : সম্পৃক্ত বাষ্পচাপের পরীক্ষা

মতো এবং ইহাই আলোচ্য সময়ের বায়ুর চাপ নির্দেশ করিবে। আমরা জানি পারদস্তম্ভের উপরের স্থানকে টরিসেলীয় 'শূন্যস্থান' বলে। এখন একটি বাঁকা-মুখ পিপেট (bent pipette) P-এর মধ্যে জল লইয়া ২৪নং চিত্রের মতো একটি নলের (মনে কর B-এর) ঠিক নীচে ধরিয়া পিপেটের পিছনের মুখে ফুঁ দিয়া চাপ দিলে পিপেট হইতে ফোঁটা জল পারদস্তম্ভের উপরে বাষ্পীভূত হইবে এবং নলের পারদ অল্প নীচে আসিয়া দাঁড়াইবে। আর দুই এক ফোঁটা জল পিপেট হইতে নলে প্রবেশ করাইয়া দিলে উহাও বাষ্পীভূত হইবে এবং

পারদস্তম্ভ আরও একটু নীচে নামিবে। এইভাবে কয়েকবার জল প্রবেশ করাইলে এক সময়ে দেখা যাইবে আর জল বাষ্পীভূত হইতেছে না, কেবল পারদের উপরে সঞ্চিত হইতেছে। পারদস্তম্ভও আর নীচে নামিতেছে না।

এই পরীক্ষায় জলীয় বাষ্পের চাপের জন্যই B নলের পারদ নীচে এবং যে কোন সময়ে বাষ্পের চাপ A ও B নলের পারদস্তম্ভের ব্যবধানের সহিত সমান। টরিসেলীয় 'শূন্যস্থানে' ফোঁটা ফোঁটা জল প্রবেশ করিয়া প্রথমে বাষ্পীভূত হয় এবং ক্রমশ বাষ্পের চাপ বৃদ্ধি পায়। সেইজন্য পারদও ক্রমশ নীচে নামে। কিন্তু শেষ পর্যন্ত 'শূন্যস্থানটি বাষ্পধারণ ক্ষমতার সীমায় আসিয়া পৌঁছায়, তখন আর জল বাষ্পীভূত হয় না। এই অবস্থায় স্থানটিকে বাষ্পের দ্বারা **সম্পৃক্ত** (saturated) এবং ঐ বাষ্পকে **সম্পৃক্ত বাষ্প** (saturated vapour) বলে। সম্পৃক্ত বাষ্প যে চাপ প্রয়োগ করে তাহাকে **সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ** (saturated vapour pressure) বলে।

B নলটিকে এখন ধীরে ধীরে উপরে উঠাইলে পারদের উপর সঞ্চিত জলের পরিমাণ কমিতে থাকে কিন্তু পারদস্তম্ভের উচ্চতার কোনও পরিবর্তন হয় না। অর্থাৎ বদ্ধ স্থানটির আয়তন বৃদ্ধি পাওয়ায় আরও জল বাষ্পীভূত হইয়া শূন্যস্থান গ্রহণ করে কিন্তু বাষ্পের চাপ অপরিবর্তিত থাকে। আবার B নলের পারদস্তম্ভের উচ্চতা স্থির থাকে। অর্থাৎ বদ্ধ স্থানটির আয়তন কমিলে কিছু বাষ্প ঘনীভূত হইয়া তরলে রূপান্তরিত হয়, কিন্তু সম্পৃক্ত বাষ্পের চাপ সমানই থাকে। অতএব সম্পৃক্ত বাষ্পের চাপ বদ্ধ স্থানের আয়তনের উপর নির্ভর করে না। **অর্থাৎ সম্পৃক্ত বাষ্প বয়েলের সূত্র অনুসরণ করে না।** B নলটিতে উপরে উঠাইবার সময়ে অবশ্য এত বেশী উঠানো চলিবে না যাহাতে সঞ্চিত জল সমস্ত বাষ্পীভূত হইয়া যায়।

২৫নং চিত্র: বিভিন্ন উষ্ণতায় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ

উষ্ণতার সহিত সম্পৃক্ত চাপ কিরূপে পরিবর্তিত হয় তাহা দেখিবার জন্য আর একটি পরীক্ষা করা যাইতে পারে পরীক্ষায় বর্ণিত A ও B নল দুইটিকে একটি জলপূর্ণ আবেষ্টনীর (water bath) মধ্যে লইতে হইবে। একটি ধাতুনির্মিত নল PQRS ঐ জলের মধ্যে প্রবেশ করিয়া বাহির হইয়া যাইবে এবং ঐ নলের পথে বাষ্প চালনা করিয়া আবেষ্টনীটির উষ্ণতা ধাপে ধাপে বাড়ান যাইবে। আবেষ্টনীটিকে যে কোনও উষ্ণতায় তুলিয়া ও মিশ্রকটির সাহায্যে নাড়িয়া জলের উষ্ণতা সর্বত্র সমান করা যাইবে। এখন আবহাওয়ার উষ্ণতা হইতে আরম্ভ করিয়া জলের উষ্ণতা 5° সে. বা 10°সে. করিয়া বাড়াইতে হইবে

এবং প্রত্যেক উষ্ণতায় B নলের পারদস্তম্ভের উচ্চতার পাঠ লইতে হইবে। A ও B নলের পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্যই নির্দিষ্ট উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের সম্পৃক্ত চাপ। (অবশ্য B নলের পারদস্তম্ভের উপর কোনও সময়েই যেন সমস্ত জল বাষ্পীভবন হইয়া না যায়।) দেখা যাইবে উষ্ণতার সহিত সম্পৃক্ত বাষ্পের চাপ ধীরে ধীরে বাড়িতেছে।

জল ভিন্ন অন্য কোনও তরল লইয়া পূর্বে বর্ণিত পরীক্ষাগুলি করিলেও একই প্রকার ফলাফল লক্ষ্য করা যাইবে। কিন্তু ভিন্ন ভিন্ন তরলের জন্য কোনও নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ ভিন্ন ভিন্ন হইবে।

অতএব: **নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোনও তরলের বাষ্প একটি নির্দিষ্ট সর্বোচ্চ চাপ প্রয়োগ করিতে পারে, ইহাকে ঐ তরলের বাষ্পের সম্পৃক্ত চাপ বলে। উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে ঐ বাষ্পের সম্পৃক্ত চাপও বৃদ্ধি পায়।** কোনও স্থান কোনও বাষ্পের দ্বারা সম্পৃক্ত হইলে ঐ স্থান ঐ বাষ্প ধারণ করিবার চরম সীমায় আসিয়া পৌছায়, অর্থাৎ আর বাষ্প ধারণ করিতে পারে না।

সম্পৃক্ত বাষ্পচাপের সারণি বা তালিকা: খ্যাতনামা ফরাসী বিজ্ঞানী রেনো (Regnault) সুদীর্ঘকাল পরিশ্রম করিয়া নানাপ্রকার তরল লইয়া বিভিন্ন উষ্ণতায় উহাদের প্রত্যেকের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ (saturated vapour pressure) নির্ণয় করেন। ইহাদের রেনোর পঞ্জী বা তালিকা বলে। রেনোর পরে আরও অনেকে এইরূপ তালিকা প্রস্তুত করিয়াছেন। এই সকল তালিকা দেখিয়া যে কোনও উষ্ণতায় কোনও তরলের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ জানা যাইতে পারে। এই সারণির জলের ক্ষেত্রে কিছু অংশ এখানে দেওয়া হইল।

বিভিন্ন উষ্ণতায় জলের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ

(বাষ্পচাপ পারদস্তম্ভের মিলিমিটারে (m.m.) দেওয়া হইল।)

তাপাঙ্ক °সে.	বাষ্পচাপ m.m.	তাপাঙ্ক °সে.	বাষ্পচাপ m.m.	তাপাঙ্ক °সে	বাষ্পচাপ m.m.
0	4·6	14	12·0	28	28·3
1	4·9	15	12·8	29	29·9
2	5·3	16	13·6	30	31·7
3	5·7	17	14·5	32	35 5
4	6·1	18	15·5	34	39·8
5	6·5	19	16·5	36	44·4
6	7·0	20	17·5	38	49·5
7	7·5	21	18·6	40	55·1
8	8·0	22	19·8	42	61·3
9	8·6	23	21·0	44	68 1
10	9·2	24	22·3	46	75·4
11	9·8	25	23·7	48	83 5
12	10·5	26	25·1	50	92·3
13	11·2	27	26·7		

সারাংশ

বাষ্পায়ন (Vaporization) : কোনও তরলের বাষ্পীয় অবস্থায় পরিবর্তনের নাম বাষ্পায়ন। বাষ্পায়ন দুই প্রকারের হয় : **স্ফুটন** (Boiling) : নির্দিষ্ট উষ্ণতায় দ্রুতবেগে বাষ্পায়ণের নাম স্ফুটন। **বাষ্পীভবন** (Evaporation) : যে কোন উষ্ণতায় ধীরে ধীরে বাষ্পায়ণের নাম বাষ্পীভবন।

স্ফুটনাঙ্ক (Boiling point) : খোলামুখ পাত্রে কোনও নির্দিষ্ট তরল সর্বদা নির্দিষ্ট তাপাঙ্কে ফুটিতে আরম্ভ করে এবং যতক্ষণ স্ফুটন প্রক্রিয়া চলে ততক্ষণ তরলের উষ্ণতাও ঐ তাপাঙ্কে স্থির থাকে। ইহাকে ঐ তরলের স্ফুটনাঙ্ক বলে।

বাষ্পায়ণের লীন তাপ (Latent Heat of Vaporization) : তরল হইতে বাষ্পীয় অবস্থায় রূপান্তরের সময় অপরিবর্তিত উষ্ণতায় একক ভরের কোনও তরল যতখানি তাপ শোষণ করে তাহাকে ঐ তরলের বাষ্পায়ণের লীন তাপ বলে। জলের বাষ্পায়ণের লীন তাপ 536 ক্যালরি/গ্রাম।

একক ভরের তরল বাষ্পে পরিণত হইবার সময়ে যতখানি তাপ শোষণ করে, একক ভরের বাষ্প তরলে পরিণত হইবার বা ঘনীভূত হইবার সময়ে ঠিক ততখানি তাপ বর্জন করে।

বাষ্পীভবণ ও স্ফুটনের তুলনা

বাষ্পীভবন	স্ফুটন
1. যে কোনও উষ্ণতায় হয়।	1. নির্দিষ্ট উষ্ণতায় হয়।
2. ধীর ও মৃদু প্রক্রিয়া।	2. দ্রুত ও প্রবল প্রক্রিয়া।
3. কেবল তরলের মুক্ত উপরিতল হইতে হয়।	3. সমগ্র তরলের মধ্য হইতে হয়।
4. তরলের মুক্ত উপরিতলের বিস্তার, বায়ুর আর্দ্রতা, বায়ুর প্রবাহ প্রভৃতির উপর বাষ্পীভবনের দ্রুততা নির্ভরশীল।	4. তরলের মুক্ত উপরিতলের বিস্তার, বায়ুর আর্দ্রতা, বায়ুপ্রবাহ ইত্যাদির উপর স্ফুটনের হার নির্ভর করে না। কেবল কি হারে তাপ প্রয়োগ করা হইতেছে তাহার উপর নির্ভর করে।

বাষ্পীভবনের লীন তাপ : বাষ্পীভবনের জন্যও তরল লীন চাপ শোষণ করে। এই তাপ তরলের সংলগ্ন বস্তু হইতে গৃহীত হয়। এইরূপে বাষ্পীভবনের দ্বারা **শীতলতা উৎপন্ন** হয়। কুঁজা ও মাটির পাত্রের জল ঠাণ্ডা হওয়া, ঘামে সিক্ত দেহ পাখার হাওয়ায় ঠাণ্ডা হওয়া, ভিজা খসখসের জল বাষ্পীভূত হইয়া ঘরকে ঠাণ্ডা রাখা প্রভৃতি বাষ্পীভবনের দ্বারা শীতলতা উৎপাদনের উদাহরণ।

স্ফুটনাঙ্ক ও চাপ : কোনও তরলের স্ফুটনাঙ্ক উহার উপরিস্থিত বায়ু ও বাষ্পের চাপের উপর নির্ভরশীল। চাপ বাড়িলে স্ফুটনাঙ্ক বাড়ে, চাপ কমিলে

স্ফুটনাঙ্কও সেই অনুপাতে কমে। সুতরাং কোনও নির্দিষ্ট তরলের স্ফুটনাঙ্ক সর্বদা নির্দিষ্ট নহে। আমরা তরলের স্ফুটনাঙ্ক বলিতে যাহা বুঝি তাহা বায়ুর স্বাভাবিক চাপে (76 সে. মি. পারদস্তম্ভের চাপ) ঐ তরলের স্ফুটনাঙ্ক। ইহাকে তরলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক (Normal Boiling Point) বলে। যেমন, জলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক 100° সে.

উচ্চচাপযুক্ত স্ফুটনপাত্র: বদ্ধপাত্রের মধ্যে তরল ফুটাইলে আবদ্ধ স্থানের সঞ্চিত বাষ্পের চাপ বৃদ্ধি পাইয়া তরলের স্ফুটনাঙ্ককেও বৃদ্ধি করে। এইরূপে কোনও তরলকে তাহার স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা যত ইচ্ছা উর্ধ্বে তোলা যাইতে পারে এবং তাহা দ্বারা উৎপন্ন বাষ্পের চাপও খুব বেশী হয়। বাষ্পচালিত ইঞ্জিনের বয়লার (Boiler), **পেপিনের ডাইজেস্টার** (Pepin's Digester) উচ্চচাপযুক্ত রন্ধনপাত্র (Pressure Cooker) প্রভৃতি এই মূলনীতির উপর নির্মিত।

নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোনও তরলের বাষ্প সর্বদা একটি নির্দিষ্ট সর্বোচ্চ চাপ প্রয়োগ করিতে পারে যাহাকে ঐ তরলের ঐ উষ্ণতার সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বলে। উষ্ণতার সহিত সম্পৃক্ত বাষ্পচাপও বৃদ্ধি পায়।

অনুশীলনী

[প্রশ্নে দেওয়া না থাকিলে বাষ্পায়ণের লীন তাপ 540 ক্যালরি/গ্রাম এবং বরফের গলনীয় লীন তাপ 80 ক্যালরি/গ্রাম ধরিবে।]

1. *What is boiling? Define boiling point of a liquid. Compare evaporation with boiling.*

2. *Define Latent Heat of Vaporization. What is its value for water? Describe a method for finding Latent Heat of Vaporization of water.*

3. *What do you mean by the statement, 'Latent Heat of Vaporization of water is 540 cals/gm.'? How many calories of heat will be required to turn 5 kilograms of water at boiling point into water vapour?*

4. *2·5 gm. of steam at 100°C is completely condensed in 50 gm. of water at 0°C. What will be the final temperature?*

5. *A calorimeter of water equivalent 2 gm. contains 38 gm. of Water and 5 gm. of ice, all at 0°C. If 5 gm. of water vapour at 100°C are condensed into it, what will be the final temperature?*

6. *The following data were obtained in an experiment on determining the latent heat of vaporization of water: wt. of calorimeter = 30 gm.; wt. of water taken = 68·4 gm. initial*

temp. of water=30°C; final temp. of mixture=40°C; wt. of vapour condensed=1·2 gm. Taking specific heat of copper as 0·1, calculate the latent heat of vaporization of water.

7. *How many calories of heat will be required to convert 10 gm. of ice at −10°C completely into vapour.*

8. *From an electric stove 200 calories of heat enter into the water in a kettle. The kettle contained a litre of water initially at 30°C. In what time will the water be completely boiled off?*

9. *If latent heat of ice is 80 calories and latent heat of steam is 535 calories, find the resultant temperature when 10 gm. of steam are passed into 50 gm. of water in which float 30 gm. of ice at 0°C.* [*C. U. 1950*]

10. *Compare Evaporation and Boiling. What are the factors influencing evaporation? Explain how they affect evaporation.*

11. *What are the effects of pressure on boiling point? Give two simple examples to illustrate your answer.*

12. *"Ordinarily water boils on applying heat, but water can also boil by pouring cold water."—Explain how and under what circumstances this is possible.*

13. *What is saturation pressure of vapour? Illustrate your answer with an experiment.*

॥ উত্তর ॥

3. 2700000 ক্যালরি, 4. 30·48° সে.,
5. 56° সে., 6. 535 ক্যালরি/গ্রাম,
8. 7·250 ক্যালরি, 9. 43·38° সে.,

পঞ্চম অধ্যায়

বায়ুমণ্ডলের আর্দ্রতা ও হাইগ্রোমিতি

[Moisture in atmosphere and Hygrometry]

বাতাসে জলীয় বাষ্প আছে। ইহা সহজেই প্রমাণ করা যায়। একটি কাঁসার গ্লাসে কিছু বরফজল হইয়া টেবিলের উপর রাখা হইল। এখন উহার বাহিরের গাত্র ব্লটিং কাগজ দ্বারা ভাল করিয়া মুছিয়া লওয়া হইল যেন এক বিন্দুও জল গায়ে লাগিয়া না থাকে। কিছুক্ষণ অপেক্ষা করিলে দেখা যাইবে পাত্রের বাহিরের গায়ে ঘামের মতো বিন্দু বিন্দু জল জমা হইতেছে। বাতাসের মধ্যে যে জলীয় বাষ্প আছে তাহা পাত্রটির শীতল গাত্রের সংস্পর্শে আসিয়া ঘনীভূত হইয়া এইরূপ বিন্দু বিন্দু জলে পরিণত হইল।

বাতাসে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ ঃ বাতাসে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ অতি সামান্য। আয়তন হিসাবে ইহা সাধারণত শতকরা এক ভাগের মতো। অর্থাৎ প্রতি একশত সি. সি. বায়ুতে মাত্র এক সি. সি.-র মতো জলীয় বাষ্প থাকে। কিন্তু ইহার পরিমাণ নির্দিষ্ট নহে, সর্বদা পরিবর্তনশীল। স্থান ও কালের ব্যবধানে জলীয় বাষ্পের পরিমাণও পরিবর্তিত হয়। উদাহরণস্বরূপ বর্ষাকালে বাতাসে যত জলীয় বাষ্প থাকে, শীতকালে অবশ্যই তত থাকে-না। আবার সমুদ্রের তীরবর্তী অঞ্চলে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ মরু অঞ্চল অপেক্ষা স্বাভাবিক কারণেই বেশী।

বাতাসে জলীয় বাষ্পের প্রভাব ঃ বাতাসে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ যতই সামান্য হউক, ইহার প্রভাব অসামান্য। জলীয় বাষ্পের পরিমাণের উপর কোনও দেশের আবহাওয়া, বৃষ্টিপাতের পরিমাণ প্রভৃতি নির্ভর করে। বৃষ্টির উপর দেশের কৃষি ও নদীনালায় জলসঞ্চার প্রভৃতি নির্ভরশীল। আবহাওয়া খুব শুষ্ক হইলে তাহা জীবনধারণের উপযোগী হয় না। আবার আর্দ্র আবহাওয়া দীর্ঘস্থায়ী হইলে কতকগুলি রোগের প্রকোপ বৃদ্ধি পায়। একটি নির্দিষ্ট সীমানার মধ্যে বাতাসের আর্দ্রতা সীমাবদ্ধ থাকিলেই তাহা সুস্থ জীবন-ধারণের পক্ষে উপযুক্ত হয়। আবার বস্ত্রবয়ন প্রভৃতি কতকগুলি শিল্পের ক্ষেত্রেও আবহাওয়ায় নির্দিষ্ট পরিমাণ আর্দ্রতা থাকা প্রয়োজন। সুতরাং মানবসমাজ তথা সমগ্র জীব ও উদ্ভিদ-জগতে আবহাওয়ার আর্দ্রতার প্রভাব অপরিসীম বলিলেও অত্যুক্তি হয় না।

হাইগ্রোমিতি

আবহাওয়ার আর্দ্রতা এইরূপ একটি অতি প্রয়োজনীয় বিষয় হওয়ায়, এই আর্দ্রতা মাপিবার জন্য কতকগুলি প্রণালী উদ্ভাবিত হইয়াছে। ইহাদের আলোচনা করাই হাইগ্রোমিতি অধ্যায়ের উদ্দেশ্য। 'হাইগ্রো'—কথার অর্থ জলীয় বাষ্প এবং 'মিতি কথার অর্থ পরিমাণ। অতএব বাতাসের জলীয় বাষ্পের পরিমাপ করাই হইল হাইগ্রোমিতির কাজ।

সম্পৃক্ত ও অসম্পৃক্ত বায়ু (**Saturated and unsaturated air**) বাতাসের জলীয় বাষ্প ধারণের ক্ষমতা সীমাবদ্ধ। ইহা আবহাওয়ার উষ্ণতার উপর নির্ভর করে। কারণ আমরা পূর্বে দেখিয়াছি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বাতাস সর্বদা নির্দিষ্ট পরিমাণ জলীয় বাষ্প ধারণ করিতে পারে। বাতাস যখন যতটা সম্ভব জলীয় বাষ্প ধারণ করে তখন বাতাসকে জলীয় বাষ্পদ্বারা সম্পৃক্ত (saturated) বলা হয়। যতক্ষণ বায়ু সম্পৃক্ত না হয় ততক্ষণ নদী, সমুদ্র হইতে বায়ুতে জলীয় বাষ্প প্রবেশ করে। কিন্তু সম্পৃক্ত হইবার পর বায়ু আর এক বিন্দুর বেশী জলীয় বাষ্প গ্রহণ করিতে পারে না। উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে অবশ্য আবার কিছু বাষ্প গ্রহণ করিতে পারে। কিন্তু সম্পৃক্ত হইবার পর যদি আবহাওয়ার উষ্ণতা হ্রাস পায় তাহা হইলে নিম্নতর উষ্ণতায় যতখানি জলীয় বাষ্প বায়ু ধারণ করিতে পারে তাহার অতিরিক্ত বাষ্প বাতাসে আর থাকিতে পারে না। উহা ঘনীভূত হইয়া ভূ-পৃষ্ঠের কঠিন ও শীতল বস্তু যেমন ঘাসের ডগা, ছাদের আলিসা প্রভৃতির উপর বিন্দু বিন্দু জলের আকারে জমা হয়। ইহাকেই আমরা **শিশির** পড়া বলি। আবার কোনও সময়ে বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প আছে, মনে করা যাক, তাহা বায়ুকে সম্পৃক্ত করিবার পক্ষে যথেষ্ট নহে। কিন্তু যদি আবহাওয়ার উষ্ণতা ক্রমশ হ্রাস পাইতে থাকে, তাহা হইলে এক সময় বায়ুতে অবস্থিত জলীয় বাষ্পের দ্বারা বায়ু সম্পৃক্ত হইবে। উষ্ণতা আর একটু হ্রাস পাইলেই শিশির পড়া আরম্ভ হইবে। এইজন্য শেষ রাত্রিতে আবহাওয়া শীতল হইলে সাধারণত শিশির পড়িয়া থাকে।

শিশিরাঙ্ক (**Dew point**)ঃ যে উষ্ণতায় বাতাসে অবস্থিত জলীয় বাষ্প বাতাসকে ঠিক সম্পৃক্ত করিবে এবং শিশির পড়া শুরু হইবে তাহাকে আলোচ্য সময়ের (বা দিনের) শিশিরাঙ্ক বলে।

উদাহরণস্বরূপ কোনও সময়ে বাতাসে যে জলীয় বাষ্প আছে তাহা হয়ত বাতাসকে সম্পৃক্ত করিতেছে না। কিন্তু ঐ পরিমাণ জলীয় বাষ্প ইহা অপেক্ষা নিম্নতর কোনও তাপাঙ্কে নিশ্চয়ই বাতাসকে ঠিক সম্পৃক্ত করিবে। রাত্রিশেষে উষ্ণতা নামিয়া যখন এই নির্দিষ্ট তাপাঙ্কে পৌঁছাইবে তখন বাতাস ঠিক সম্পৃক্ত হইবে। উষ্ণতা আর সামান্য হ্রাস পাইলেই বাতাসে অবস্থিত জলীয় বাষ্প বাতাসের ঐ উষ্ণতায় বাষ্প ধারণের ক্ষমতাকে ছাড়াইয়া যাইবে। সুতরাং অতিরিক্ত বাষ্প ঘনীভূত হইয়া শিশিরের আকারে সঞ্চিত হইবে।

একটি পাত্রে বরফজল রাখিয়া উহার বাহিরের গায়ে জলবিন্দু জমার যে উদাহরণ প্রথমে দেওয়া হইয়াছে তাহাও বাতাসের শিশিরাঙ্কে পৌঁছাইবার একটি উদাহরণ। এখানে পাত্রের শীতল গাত্রের সংলগ্ন বায়ু ঠাণ্ডা হইয়া শিশিরাঙ্কের সামান্য নীচে নামিলেই জলবিন্দু আকারে ঐ সংলগ্ন বায়ুর জলীয় বাষ্প পাত্রের গায়ে জমা হইতে থাকে।

বায়ুর আর্দ্রতা বা **নিরপেক্ষ আর্দ্রতা** (**Humidity or Absolute Humidity of Air**)ঃ কোনও সময়ে একক ঘনমিটার আয়তনের বায়ুতে

অবস্থিত জলীয় বাষ্পের ভরকে ঐ সময়ে বায়ুর আর্দ্রতা বা নিরপেক্ষ আর্দ্রতা বলে। উদাহরণস্বরূপ, কোনও সময়ে যদি প্রতি ঘনমিটার বায়ুতে 1. গ্রাম জলীয় বাষ্প থাকে, তাহা হইলে ঐ সময়ে বায়ুর নিরপেক্ষ আর্দ্রতা প্রতি ঘনমিটারে 0·1 গ্রাম।

বাতাসের শুষ্কতা ও আর্দ্রতাবোধ: আমাদের কাছে বাতাস কখনও শুষ্ক বোধ হয়, আবার কখনও আর্দ্র বা স্যাঁতসেতে বোধ হয়। এই শুষ্ক বা আর্দ্র বোধ হওয়া বাতাসে অবস্থিত জলীয় বাষ্পর পরিমাণের (অর্থাৎ নিরপেক্ষ আর্দ্রতার) উপর নির্ভর করে না। প্রকৃতপক্ষে বাতাস সম্পৃক্ত অবস্থার কত কাছে বা দূরে আছে তাহার উপরই উহা নির্ভর করে। বাতাসে অবস্থিত জলীয় বাষ্প যদি বাতাসকে সম্পৃক্ত করার জন্য প্রয়োজনীয় বাষ্প অপেক্ষা অনেক কম হয় তাহা হইলে বাতাসের মধ্যে অনায়াসে আরও প্রচুর জল বাষ্পীভূত হইয়া প্রবেশ করিতে পারে। এই অবস্থায় গায়ের ঘাম বা ভিজা কাপড় দ্রুত শুকাইয়া যায়। সেইজন্য বাতাসকে শুষ্কবোধ হয়। বাতাস শিশিরাঙ্ক অপেক্ষা বেশ কিছুটা উর্ধ্বে থাকিলেই এইরূপ অবস্থা হয়। অন্য কোনও সময়ে যখন বাতাসের উষ্ণতা আরও নিম্নে কিন্তু জলীয় বাষ্পের পরিমাণ পূর্বের মতো থাকিবে, তখন ঐ জলীয় বাষ্পের দ্বারা বাতাস প্রায় সম্পৃক্ত অবস্থায় থাকিবে। অতএব এই সময় বাতাসের জলীয় বাষ্প গ্রহণের ক্ষমতা খুব কম হইবে। সেইজন্য গায়ের ঘাম বা ভিজা কাপড় দ্রুত শুকাইবে না। এই অবস্থায় বাতাসকে আর্দ্র মনে হইবে। সুতরাং শিশিরাঙ্ক ও বাতাসের প্রকৃত উষ্ণতার ব্যবধানের উপর শুষ্কতা বা আর্দ্রতাবোধ নির্ভর করে। শিশিরাঙ্কের কাছাকাছি উষ্ণতায় বাতাসকে অত্যন্ত আর্দ্র বোধ হয়। এইজন্য শেষরাত্রে যখন শিশির পড়ে তখন ভিজা জামাকাপড় শুকায় না। বরং শুষ্ক জামাকাপড় খোলা হাওয়ায় মেলা থাকিলে উহাদের গায়ে শিশির জমিয়া ভিজিয়া যাইতে পারে। কোনও সময়ে বাতাস সম্পৃক্ত অবস্থা হইতে কত দূরে বা কাছে আছে তাহা আলোচ্য সময়ে বাতাসের **আপেক্ষিক আর্দ্রতা (Relative Humidity)** দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

সংজ্ঞা: কোনও সময়ে বাতাসের যে জলীয় বাষ্প আছে তাহার সহিত বাতাসকে ঐ সময়ের উষ্ণতায় সম্পৃক্ত করিবার জন্য প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের পরিমাণের অনুপাতকে ঐ সময়ের আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলে। অতএব আপেক্ষিক আর্দ্রতা

$$= \frac{\text{কোনও সময়ে বাতাসে অবস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর}}{\text{ঐ সময়ে বাতাসকে সম্পৃক্ত করিবার জন্য প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভর}}$$

সুতরাং আপেক্ষিত আর্দ্রতা একটি অনুপাত। ইহাকে শতকরা হিসাবেও প্রকাশ করা হয়। যেমন মনে করা যাক।

কোনও সময়ের আপেক্ষিক আর্দ্রতা $= \frac{4}{5}$

কিন্তু, $\frac{4}{5} = \frac{80}{100} = 80\%.$

সুতরাং, ঐ সময়ের আপেক্ষিক আর্দ্রতা $= 80\%$.

আবহাওয়া-সংবাদে সাধারণত আপেক্ষিক আর্দ্রতাকে শতকরা হিসাবে বলার রীতিই প্রচলিত।

শিশিরাঙ্ক হইতে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয়ঃ কোনও সময়ে বায়ুমণ্ডলে যে জলীয় বাষ্প বর্তমান আছে শিশিরাঙ্কে পৌঁছাইলে ঐ বাষ্প দ্বারাই বাতাস সম্পৃক্ত হইবে। অর্থাৎ বায়ুমণ্ডলের বর্তমান জলীয় বাষ্পের পরিমাণ শিশিরাঙ্কের সম্পৃক্ত বাষ্পের পরিমাণের সহিত সমান হইবে। অতএব আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংজ্ঞা এইরূপেও নির্দেশ করা যায়।

আপেক্ষিক আর্দ্রতা

$$= \frac{\text{আলোচ্য সময়ে বায়ুমণ্ডলে অবস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর}}{\text{আলোচ্য সময়ে বায়ুমণ্ডলকে সম্পৃক্ত করিতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভর}}$$

$$= \frac{\text{আলোচ্য সময়ের শিশিরাঙ্কের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ}}{\text{আলোচ্য সময়ের উষ্ণতায় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ}}$$

[যেহেতু বাষ্পের ভরের সহিত উহার দ্বারা প্রযুক্ত প্রায় চাপ সমানুপাতী।]

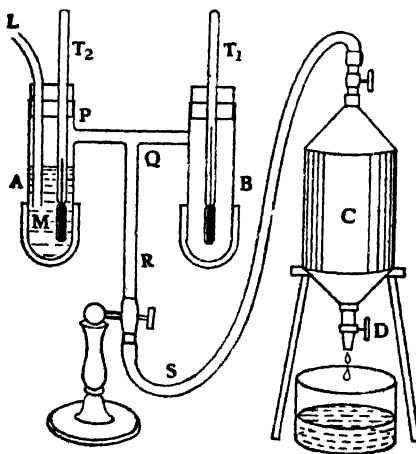
যদি শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত চাপ=পারদের f সে. মি. এবং আবহাওয়ার উষ্ণতায় সম্পৃক্ত চাপ=F সে. মি. হয় তাহা হইলে,

$$\textbf{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{f}{F} \text{ অথবা } \frac{f}{F} \times 100\%$$

অতএব কোনও সময়ের আবহাওয়ার উষ্ণতা এবং ঐ সময়ের শিশিরাঙ্ক জানা থাকিলে, রেনোর সারণি হইতে ঐ দুইটি তাপাঙ্কের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ জানা যায়। উহাদের অনুপাত হইলেই আপেক্ষিক আদ্রতা নির্ণয় করা সম্ভব।

হাইগ্রোমিটার

হাইগ্রোমিটার বা আর্দ্রতামাপক যন্ত্রের দ্বারা বাতাসের আপেক্ষিক আর্দ্রতা মাপা হয়। হাইগ্রোমিটার (Hygrometer) নানা প্রকারের হইতে পারে।

২৬নং চিত্র : রেনোর হাইগ্রোমিটার

শিশিরাঙ্ক হাইগ্রোমিটার (Dew Point Hygrometer) ঃ এই প্রকার হাইগ্রোমিটারে আলোচ্য সময়ের আবহাওয়ার উষ্ণতা ও শিশিরাঙ্ক নির্ণয় করিয়া তাহা আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা হয়।

রেনোর হাইগ্রোমিটার (Regnault's Hygrometer) ঃ

বর্ণনা ঃ A ও B দুইটি পরীক্ষা-নলের বা টেস্ট-টিউবের উপরের অংশ কাচের এবং নীচের অংশ রূপার মসৃণ পাতের দ্বারা প্রস্তুত। A নলের ভিতরে কিছু তরল

ইথার এবং উহার মধ্যে T_2 থার্মোমিটারটির বাল্‌ব নিমজ্জিত আছে। LM একটি দুই মুখ খোলা সরু নল A পরীক্ষা-নলের মুখ হইতে ভিতরে প্রবেশ করিয়াছে এবং উহার নীচের প্রান্ত ইথারের মধ্যে ডুবানো আছে। B নলের মধ্যে কেবল একটি থার্মোমিটার T_1 আছে। উভয় নলের মুখ ছিপি দ্বারা বন্ধ এবং উহাদের একটি কাঠামোর উপর পাশাপাশি রাখা হইয়াছে। অপর একটি নল PQRS A পরীক্ষা-নলের সহিত শোষক যন্ত্র (aspirator) C-কে সংযুক্ত করিতেছে। শোষক যন্ত্রটি একটি বড় জলপূর্ণ পাত্র। ইহার নীচের স্টপকক D-কে খুলিয়া দিলে ইহা জলশূন্য হইতে থাকে এবং PQRS নলের পথে ইহার মধ্যে বায়ু প্রবেশ করিয়া শূন্যস্থান পূরণ করে।

ব্যবহার-প্রণালী : কোনও সময়ের আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করিতে হইলে, শোষক যন্ত্র (aspirator) দ্বারা ধীরে ধীরে বায়ু শোষণ করিতে হইবে। তাহা হইলে LM নলের পথে বায়ু প্রবেশ করিয়া ইথারের ভিতর হইতে বুদ্‌বুদ আকারে বাহির হইয়া A পরীক্ষা-নলের ভিতর দিয়া PQRS নলের পথে বাহির হইবে। ইহাতে A পরীক্ষা-নলের নীচে অবস্থিত ইথার ধীরে ধীরে বাষ্পীভূত হইবে এবং ঐ ইথার হইতেই প্রয়োজনীয় লীন তাপ সংগ্রহ করায় ক্রমশ ইথারের উষ্ণতা হ্রাস পাইবে। কিছুক্ষণ পরে ইথারের ও রূপার পাতের উষ্ণতা আলোচ্য সময়ের শিশিরাঙ্কে পৌঁছাইলে A নলের নীচের রূপার পাতের উপর শিশিরবিন্দু জমিতে আরম্ভ হইবে এবং রূপার পাতটি ঝাপসা দেখাইবে। ততক্ষণাৎ T_2 থার্মোমিটারে উষ্ণতার পাঠ লইতে হইবে। এখন শোষক যন্ত্রের D স্টপককটি বন্ধ করিয়া দিলে ইথারের বাষ্পীভবন হওয়া বন্ধ হইবে এবং ধীরে ধীরে রূপার পাতটির উষ্ণতা বৃদ্ধি হইবে। যখন ঘনীভূত জলবিন্দুগুলি অদৃশ্য হইয়া রূপার পাতটি আবার উজ্জ্বল দেখাইবে, ঠিক তখন আবার T_2 থার্মোমিটারের পাঠ লওয়া হইবে। থার্মোমিটার পাঠ দুইটি T_1° ও T_2° হইলে উহাদের গড় $\left(\frac{t_1+t_2}{2}\right)^\circ$C শিশিরাঙ্ক নির্দেশ করিবে। B নলের মধ্যে T_1 থার্মোমিটারের পাঠ হইতে আলোচ্য সময়ের আবহাওয়ার উষ্ণতা পাওয়া যাইবে। শিশিরাঙ্ক ও আবহাওয়ার উষ্ণতা—এই দুই তাপাঙ্কে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ রেনোর তালিকা হইতে পাওয়া যাইবে। ইহাদের অনুপাতই আলোচ্য সময়ের আপেক্ষিক আর্দ্রতা

উদাহরণ 1 : কোনও সময়ের আবহাওয়ার উষ্ণতা 30° সে. এবং শিশিরাঙ্ক 23° সে.। ঐ দুইটি তাপাঙ্কে জলীয় বাষ্পের সম্পৃক্ত চাপ যথাক্রমে পারদের 31·7 মি. মি. এবং 21·0 মি. মি. হইলে, ঐ সময়ের আপেক্ষিক আর্দ্রতা কত?

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাঙ্কের সম্পৃক্ত চাপ}}{\text{আবহাওয়ার উষ্ণতার সম্পৃক্ত চাপ}}$$

$$= \frac{21}{31{\cdot}7} = \frac{21}{31{\cdot}7} \times 100\% = \mathbf{66{\cdot}2\%}$$

উদাহারণ 2 : রেনোর হাইগ্রোমিটার দ্বারা কোনও সময়ের আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করিবার সময় দেখা গেল দুইটি থার্মোমিটারের তাপাঙ্ক যথাক্রমে 39° সে. এবং 27° সে.। রেনোর তালিকা হইতে পাইয়া গেল :

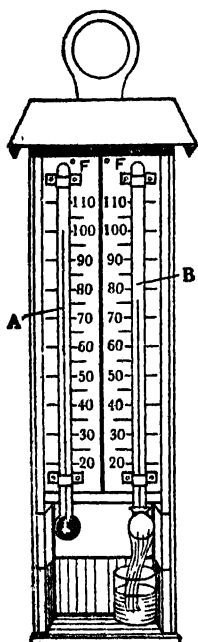
উষ্ণতা		**জলীয় বাষ্পের সম্পৃক্ত চাপ**
27° সে.	—	26·7 মি. মি. (পারদের)
39° সে.	—	47 মি. মি. "

ঐ সময়ে আবহাওয়ার আপেক্ষিক আর্দ্রতা কত ছিল ?

$$\text{নির্ণেয় আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{26{\cdot}7}{47}$$

$$= \frac{26{\cdot}7}{47} \times 100\% = \mathbf{56{\cdot}9\%} \text{ (প্রায়)}$$

আর্দ্র ও শুষ্ক বাল্‌ব হাইগ্রোমিটার
[Wet and Dry Bulb Hygrometer]

বর্ণনা : A ও B দুইটি ঠিক একই প্রকারের পারদ থার্মোমিটার। উহারা একটি কাঠের ফ্রেমে সংলগ্ন আছে। উহাদের একটি থার্মোমিটার B-এর বাল্‌বটি একটি মসলিন কাপড়ের টুকরায় জড়াইয়া ঐ কাপড়ের অপর প্রান্ত একটি জলপূর্ণ বীকারে ডুবাইয়া রাখা হইয়াছে।

২৭নং চিত্র : আর্দ্র ও শুষ্ক কুণ্ড হাইগ্রোমিটার

ব্যবহারের মূলনীতি : A থার্মোমিটারটি সর্বদা বাতাসের স্বাভাবিক উষ্ণতা নির্দেশ করিবে। কিন্তু বাতাসের সংস্পর্শ B থার্মোমিটারের বাল্‌বের গায়ে জড়ান ভিজা কাপড় হইতে বাষ্পীভবন লইবে এবং প্রায়োজনীয় লীন তাপ আংশিকভাবে বাল্‌বের পারদ হইতে লওয়া হইবে। তাহার ফলে B থার্মোমিটারের পারদ A থার্মোমিটার অপেক্ষা নিম্ন তাপাঙ্ক নির্দেশ করিবে। দুইটি থার্মোমিটার দ্বারা নির্দেশিত তাপাঙ্কের এই ব্যবধান বাতাসের আর্দ্রতার উপর নির্ভর করিবে। আর্দ্রতা যত বেশী হইবে, বাতাসের বাষ্প গ্রহণের ক্ষমতা তত কম হইবে, এবং B থার্মোমিটারের বাল্‌বে জড়ানো ভিজা মসলিন হইতে বাষ্পীভবনও তত ধীরে ধীরে হইবে। সুতরাং B থার্মোমিটারের দ্বারা নির্দেশিত উষ্ণতাও তেমন হ্রাস পাইবে না। তাহা হইলে দুইটি থার্মোমিটার দ্বারা নির্দেশিত তাপাঙ্কের ব্যবধান যত বেশী হইবে, আবহাওয়ার শুষ্কতা তত বেশী আছে বুঝিতে হইবে এবং আপেক্ষিক আর্দ্রতাও কম হইবে। কিন্তু ঐ ব্যবধান যত কম হইবে আবহাওয়ার আর্দ্রতাও তত বেশী আছে বুঝিতে হইবে এবং আলোচ্য সময়ের শিশিরাঙ্ক আবহাওয়ার উষ্ণতার তত নিকটবর্তী হইবে।

সুতরাং দুইটি থার্মোমিটারের পাঠের ব্যবধান হইতে আবহাওয়ার আর্দ্রতা বা শুষ্কতা সম্বন্ধে মোটামুটি ধারণা করা যাইবে।

আর্দ্র ও শুষ্ক কুণ্ড থার্মোমিটার দ্বারা আপেক্ষিক আর্দ্রতার সাংখ্যমান নির্ণয় করিতে হইলে নিম্নোক্ত প্রণালীর সাহায্যে করা যাইতে পারে। মনে করা যাক :

t_1°C = শুষ্ক কুণ্ড থার্মোমিটারের নির্দেশিত তাপাঙ্ক
t_2°C = আর্দ্র " " " "
t°C = আলোচ্য সময়ের শিশিরাঙ্ক।

তাহা হইলে নিম্নোক্ত সূত্র হইতে আলোচ্য সময়ের শিশিরাঙ্ক নির্ণয় করা যাইবে :

$$t_1 - t = F\,(t_1 - t_2)$$

F = 'গ্লাইসারের গুণক' (Glaisher's Factor) নামে পরিচিত একটি গুণক। শুষ্ক কুণ্ডের উষ্ণতার উপর ইহার মান নির্ভর করে। বিভিন্ন উষ্ণতায় ইহার মানের একটি তালিকা আছে। উহার কতকাংশ পরে দেওয়া হইল।

এখন আবহাওয়ার উষ্ণতা এবং শিশিরাঙ্ক হইতে অনায়াসে রেনোর তালিকার সাহায্যে আপেক্ষিক আর্দ্রতার মান নির্ণয় করা যাইবে।

গ্লাইসারীয় গুণকের তালিকা

t_1°C	15°C	18°C	20°C	22°C	24°C	26°C	28°C
F	1·87	1·83	1·79	1·75	1·72	1·69	1·67

উদাহরণ 3 : কোনও সময়ে আর্দ্র ও শুষ্ক কুণ্ড হাইগ্রোমিটারের দুইটি থার্মোমিটারকে যথাক্রমে 21° সে. ও 26° সে, তাপাঙ্ক নির্দেশ করিতে দেখা গেল। ঐ সময়ের আপেক্ষিক আর্দ্রতা কত?

তালিকা হইতে :
26° সে. শুষ্ক কুণ্ডের তাপাঙ্কে F-এর মান = 1·69
এখন, $(t_1 - t) = F\,(t_1 - t_2)$ এই সূত্রে

$t_1 = 26°$ সে.
$t_2 = 21°$ সে.
F = 1·69
এবং t = নির্ণেয়

$\therefore 26 - t = 1{\cdot}69\,(26 - 21) = 8{\cdot}45$
$\therefore t = 26 + 8{\cdot}45 = 17{\cdot}55$

এখন রেনোর তালিকা হইতে :
26° সে. তাপাঙ্কে সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ = 25·1 মি. মি.
এবং 17°55 সে. " " " = 15 মি. মি.

সুতরাং আপেক্ষিক আর্দ্রতা $= \dfrac{15}{25{\cdot}1} \times 100\% = 59{\cdot}7\%$

শিশির, কুয়াশা, মেঘ ও বৃষ্টি

শিশির

পূর্বেই শিশির (Dew) সম্বন্ধে বলা হইয়াছে। নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বাতাসের জলীয় বাষ্প ধারণের ক্ষমতা সীমাবদ্ধ। বাতাসের উষ্ণতা হ্রাস পাইতে আরম্ভ করিয়া এমন একটি সীমানায় আসিয়া পৌঁছাইতে পারে যে ঐ উষ্ণতায় বাতাসে অবস্থিত জলীয় বাষ্প বাতাসকে ঠিক সম্পৃক্ত করিবে। ইহার পর যদি উষ্ণতা আরও হ্রাস পায় তাহা হইলে বাতাস ঐ হ্রাসপ্রাপ্ত উষ্ণতায় যে জলীয় বাষ্প ধারণ করিতে পারে তাহার অতিরিক্ত জলীয় বাষ্প ধনীভূত হইয়া জলকণায় পরিণত হয়। ঐ জলকণাগুলিকেই আমরা শিশিরবিন্দুব আকারে দেখিতে পাই। সাধারণত শেষরাত্রির দিকে শিশির পড়িয়া থাকে। সন্ধ্যা হইতে সূর্য-তাপ থাকে না এবং ভূ-পৃষ্ঠের প্রত্যেক বস্তু তাপ ছাড়িয়া ক্রমশ শীতল হইতে থাকে। এইরূপে শেষরাত্রে পৃথিবীর সমস্ত কঠিন বস্তু তাপ ছাড়িয়া খুব শীতল হয়। ইহাদের সংলগ্ন বায়ুস্তরও ঠাণ্ডা হয় এবং জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হয়। বাতাসও ঠাণ্ডা হইয়া প্রায় শিশিরাঙ্কের কাছে আসিয়া পৌঁছায় বলিয়া সহজেই কঠিন বস্তুর গায়ে বিন্দু বিন্দু শিশির জমা হয়। এইজন্য ভোর বেলায় ঘাসের ডগা, গাছের পাতা ছাদের আলিসা প্রভৃতি স্থানে শিশির বিন্দু দেখা যায়।

কুয়াশা

কোনও কোনও সময়ে আবহাওয়া খুব শীতল হয় এবং কেবল ভূ-পৃষ্ঠের সংলগ্ন বায়ুস্তরই নহে, উহাকে ছাড়াইয়া আরও উপরের স্তরের বায়ুও যথেষ্ট শীতল হইয়া যায়। তখন ভূ-পৃষ্ঠ হইতে উপরের কিছুদূর পর্যন্ত বায়ুস্তর এত শীতল হয় যে বায়ুতে অবস্থিত জলীয় বাষ্পকে বায়ু আর ধারণ করিতে পারে না। অতিরিক্ত বাষ্প বাতাসের মধ্যে অবস্থিত ধূলিকণা ধোঁয়ার ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা প্রভৃতির উপর ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলবিন্দুর আকারে ভাসিয়া থাকে। ইহাই কুয়াশা (Mist)। শহরে রাত্রির শান্ত হাওয়া যথেষ্ট শীতল হইলে বাতাসের ধোঁয়ার কণা ও ধুলার কণার উপর জলকণা জমিয়া কুয়াশার সৃষ্টি করে। রাত্রে একবার কুয়াশা জমিলে ভোরবেলাও কুয়াশা থাকে। তারপর সূর্য উঠিলে ক্রমশ উষ্ণতা বাড়িতে থাকে এবং জলকণাগুলি আবার বাষ্পীভূত হইয়া কুয়াশা কাটিয়া যায়। ঘন কুযাশাকে **কুজ্ঝটিকা** (Fog) বলে।

মেঘ

ঊর্ধ্ব অকাশের উষ্ণতা ভূ-পৃষ্ঠে অপেক্ষা কম। সেইজন্য জলীয় বাষ্প ঊর্ধ্ব আকাশে উঠিলে শীতলতার সংস্পর্শে ঘনীভূত হইয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণার আকারে বাতাসে ভাসিয়া বেড়ায়। ইহাদের সমষ্টিই মেঘ। সুতরাং কুয়াশা ও মেঘ একই বস্তু। উভয়ই বাতাসে ভাসমান ঘনীভূত জলকণা। কিন্তু কুয়াশা হয় ভূ-পৃষ্ঠে ও মেঘ হয় ঊর্ধ্ব আকাশে সুতরাং কুয়াশাকে ভূ-পৃষ্ঠের মেঘ বা মেঘকে আকাশের কুয়াশা বলা যাইতে পারে। মেঘের জলকণাগুলি বেশী ভারী হইলে

নীচে নামিয়া আসিতে থাকে, কিন্তু নীচের উষ্ণতর বায়ুস্তরের সংস্পর্শে আসিয়া আবার বাষ্পে পরিণত হইয়া উপরে উঠে এবং আবার জলকণার আকারে মেঘে সঞ্চিত হয় এইরূপে মেঘ ঊর্ধ্ব আকাশে উঠানামা করিতে থাকে। আবার মেঘের জলকণাগুলি সর্বদা নিজের মধ্যে ছুটাছুটি করিয়া বেড়ায়।

নানাপ্রকারের মেঘ

সকল মেঘই এক রকমের নহে। বিভিন্ন প্রকারের মেঘকে নিম্নলিখিত কয়েকটি শ্রেণীতে ভাগ করা যায়।

1. **সিরাস:** সিরাস (Cirrus) মেঘ পৃথিবী-পৃষ্ঠ হইতে প্রায় 27,000 ফিট ঊর্ধ্বে থাকে। ইহাদিগকে দেখিতে কতকটা পেঁজা তুলার মতো। ইহা ছোট ছোট সাদা মেঘের সমষ্টি।

2. **কিউমুলাস:** কিউমুলাস (Cumulus) মেঘকে পর্বতশ্রেণীর মতো দেখায়। ইহাদিগকে সাধারণত গ্রীষ্মকালে দেখা যায়। পৃথিবী-পৃষ্ঠ হইতে ইহাদের উচ্চতা প্রায় 4·5 হাজার ফুট।

স্ট্র্যাটাস: স্ট্র্যাটাস (Stratus) মেঘ পরিষ্কার আবহাওয়ার সূচক। শরৎকালে ইহাদিগকে দেখিতে পাওয়া যায়। পৃথিবী-পৃষ্ঠ হইতে ইহাদের উচ্চতা প্রায় 2000 ফুট।

4. **নিম্বাস:** নিম্বাস (Nimbus) মেঘ সাধারণ পৃথিবী-পৃষ্ঠ হইতে 3/4 হাজার ফুট ঊর্ধ্বে দেখিতে পাওয়া যায়। ইহাদের রং ধূসর এবং ইহারাই প্রধানত বৃষ্টিপাত ঘটায়।

বৃষ্টি: মেঘের দুইটি বা ততোধিক ক্ষুদ্র জলকণা মিলিত হইয়া একটি বড় জলকণার সৃষ্টি করে। ঐ বড় জলকণাটি ভারী হওয়ার ফলে নীচে নামিয়া আসে। নামিবার সময়ে আরও জলকণার সহিত উহা মিলিত হইয়া একটি বড় ফোঁটায় পরিণত হয় এবং বায়ুস্তর ভেদ করিয়া ভূ-পৃষ্ঠে আসিয়া নামে। ইহারই নাম বৃষ্টি।

তুষার: মেঘের উষ্ণতা কখনও কখনও জলের হিমাঙ্ক 0° সে.-এরও নীচে নামিয়া যায়। তখন জলকণা কেলাসের আকারে জমিয়া যায় এবং নীচে নামিয়া আসে। ইহাকে তুষার (Snow) বলে।

শিলা: মাঝে মাঝে বৃষ্টির সময় প্রবল বায়ুস্রোত উপরের দিকে প্রবাহিত হয়। সেই ঊর্ধ্বগামী বায়ুপ্রবাহে ঊর্ধ্বাকাশের বহু জলকণা আরও উপরে উঠিয়া যায় এবং ক্রমশ 0° সে. অপেক্ষাও অনেক নিম্ন উষ্ণতায় পৌঁছায়। তখন ঐ জলকণাগুলি জমিয়া যায় এবং উহার উপর আরও জলকণা জমিয়া ভারি হয় ও নীচে নামিতে থাকে। নামিবার সময়ে আরও জলকণা কেলাসের (crystal) আকারে উহার উপর জমিতে থাকে। এইরূপে বড় বড় শিলাখণ্ডগুলি নীচে নামিতে থাকে। ইহাকে আমরা **শিলপড়া** বলি। জলকণার স্তর বাহিয়া নামিবার সময়ে শিলাখণ্ডের উপর স্তরে স্তরে দ্রুত কেলাস জমিবার জন্য উহার

মধ্যে বাতাস থাকিয়া যায়। সেইজন্য শিলাকে (Hail) মাঝে মাঝে উজ্জ্বল তুষারের মতো সাদা দেখায়।

সারাংশ

বাতাসে আয়তন হিসাবে শতকরা মাত্র এক ভাগের মতো জলীয় বাষ্প থাকে, কিন্তু বৃষ্টিপাত, কৃষি, শিল্প সামগ্রিক জলবায়ু প্রভৃতি উপর ইহার প্রভাব অপরিসীম।

শিশিরাঙ্ক: যে উষ্ণতায় কোনও সময়ের বাতাসে অবস্থিত জলীয় বাষ্প বাতাসকে ঠিক সম্পৃক্ত করিবে সেই উষ্ণতাকে ঐ সময়ের শিশিরাঙ্ক (Dew Point) বলে।

নিরপেক্ষ আর্দ্রতা: কোনও সময়ের বাতাসের প্রতি একক আয়তনে যে পরিমাণ (ভর) জলীয় বাষ্প থাকে তাহাকে ঐ সময়ের নিরপেক্ষ আর্দ্রতা (Absolute Humidity) বলে।

আপেক্ষিক আর্দ্রতা

$$= \frac{\text{কোনও সময়ে বাতাসে অবস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর (বা চাপ)}}{\text{ঐ সময়ে উষ্ণতায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের ভর (বা চাপ)}}$$

$$= \frac{\text{কোন সময়ের শিশিরাঙ্কে জলীয় বাষ্পের সম্পৃক্ত চাপ } (f)}{\text{ঐ সময়ের উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের সম্পৃক্ত চাপ (F)}}$$

$$= \frac{f}{F} \times 100\%$$

আবহাওয়ার আর্দ্রতা বা শুষ্কতাবোধ নিরপেক্ষ আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে না, আপেক্ষিক আর্দ্রতার (Relative Humidity) উপরই নির্ভর করে।

হাইগ্রোমিটার: আবহাওয়ার আর্দ্রতা নির্ণয়ের জন্য ইহা ব্যবহৃত হয়। **শিশিরাঙ্ক হাইগ্রোমিটারে** (Dew Point Hygrometer) শিশিরাঙ্ক ও আবহাওয়ার উষ্ণতা লইয়া রেনোর তালিকা (Regnault's Table) দেখিয়া ঐ দুইটি তাপাঙ্কের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ জানিয়া লওয়া হয় এবং তাহা হইতে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা হয়। **আর্দ্র ও শুষ্ক কুণ্ড** (Wet and Dry Blub) **হাইগ্রোমিটারে** থার্মোমিটার দুইটির বিভিন্ন উষ্ণতা হইতে গ্লাইসারীয় তালিকার সাহায্যে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা হয়।

কুয়াশা: বাতাসের উষ্ণতা হ্রাস পাইলে বাতাসে অবস্থিত জলীয় বাষ্প ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণার আকারে ভাসমান ধূলিকণার উপর ঘনীভূত হইয়া কুয়াশার সৃষ্টি করে। কুয়াশাকে ভূ-পৃষ্ঠের মেঘ বলা যায়।

মেঘ ও বৃষ্টি: মেঘকে আকাশের কুয়াশা বলা যায়। মেঘের অনেকগুলি জলকণা মিলিত হইয়া বড় জলের ফোঁটার পরিণত হইলে উহারা বৃষ্টির আকারে নামিয়া আসে।

অনুশীলনী

[প্রয়োজন হইলে ২১৭ পৃষ্ঠায় প্রদত্ত রেনোর পঞ্জী (Regnault's Table) ব্যবহার কর।]

1. *What are saturated and unsaturated states of air? Define Dew Point and Relative Humidity.*

2. *Describe a Dew Point Hygrometer and explain how you determine Relative Humidity with it.*

3. *The atmospheric temperature and the Dew Point of a particular time are 25°C and 18°C. What is the Relative Humidity?*

4. *While using a Regnault's Hygrometer the dew point and the room temperature were found to be 22°C and 30°C respectively. What was the Relative Humidity?*

5. *After running the aspirator of a Regnault's Hygrometer for sometime the temperatures of two thermometers were found to be 36°C and 28°C respectively. The saturared vapour pressures of water at those temperatures are 39·8 m. m. and 28·3 m. m. respectively. What is the Relative Humidity?*

6. *Describe and explain the action of a Dry and Wet Bulb Hygrometer.*

॥ উত্তর ॥

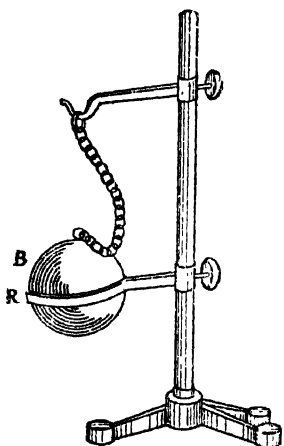
3. 65·4%, 4. 62·4%,
5. 71·1%

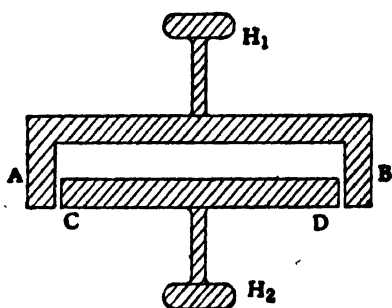
ষষ্ঠ অধ্যায়

তাপের দ্বারা পদার্থের প্রসারণ

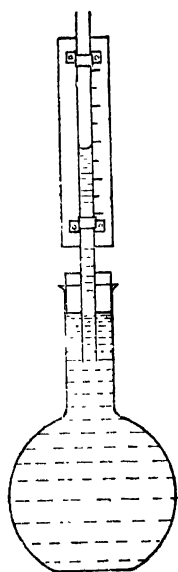
তাপ প্রয়োগের ফলে কঠিন, তরল ও বায়বীয় পদার্থ প্রসারিত হয়। এই সকল প্রসারণ লক্ষ্য করা যায় এইরূপ কয়েকটি পরীক্ষার কথা প্রথমে বলা হইতেছে।

কঠিন বস্তুর প্রসারণ

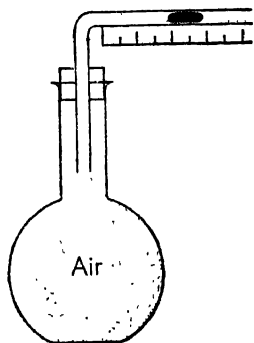
প্রথম পরীক্ষা (বল ও আংটির সাহায্যে): B একটি ধাতুনির্মিত বল ও R একটি ধাতুনির্মিত আংটি। সাধারণ অবস্থায় B বলটি R আংটির ভিতরে ঠিক গলিয়া যায়। এখন বলটিকে গরম করিয়া শিকলের সাহায্যে ধরিয়া আংটির উপব বসাইয়া দিলে দেখা যাইবে বলটি নীচে নামিতেছে না। তাপের দ্বারা বলটির আয়তন বৃদ্ধি পাওয়ার জন্য বলটি আংটির ভিতর গলিতেছে না। কিছুক্ষণ অপেক্ষা করিলে আবার বলটি শীতল হইয়া সংকুচিত হইবে এবং আংটি দিয়া গলিয়া যাইবে।

২৮নং চিত্র : বল ও আংটির পরীক্ষা

দ্বিতীয় পরীক্ষা: AB লোহার দণ্ডটি উভয় প্রান্তে সমকোণে বাঁকান। আর একটি লোহার দণ্ড CD এমন মাপের যে উহা ঠিক AB দণ্ডের মধ্যে প্রবেশ করে। H_1 এবং H_2 উহাদের কাঠের হাতল। CDকে কিছুক্ষণ গরম করিলে AB দণ্ডের ভিতরে প্রবেশ করান যাইবে না। গরমে CD দণ্ডের দৈর্ঘ্য বাড়িবার জন্যই উহা AB দণ্ডের ভিতরে যাইতেছে না। আবার CD শীতল হইলেই পূর্বের ন্যায় AB দণ্ডের ভিতরে যাইবে।

২৯নং চিত্র : তাপের দ্বারা প্রসারণ

তরলের প্রসারণ

একটি কাচের ফ্লাস্ক জল অথবা অন্য কোনও তরল পদার্থ দ্বারা পূর্ণ করা হইল। তারপর উহার মুখ রবারের ছিপি দ্বারা বন্ধ করিয়া ছিপির ছিদ্রপথে একটি সরু কাচের নল এরূপভাবে প্রবেশ করাইয়া দেওয়া হইল যেন নলের মধ্যে কিছুদূর পর্যন্ত তরল থাকে। এখন ফ্লাস্কটিকে গরম জলে ডুবাইয়া রাখিলে কিছুক্ষণ পরে দেখা যাইবে নলের মধ্যে তরলস্তম্ভ পূর্বের তুলনায় উপরে উঠিয়াছে। তাপের দ্বারা পাত্রস্থিত তরলের প্রসারণের জন্য ইহা হইল। সরু নলের পাশে স্কেল থাকিলে প্রসারণের পরিমাণও জানা যায়।

৩০নং চিত্র : তরলের প্রসারণ

গ্যাসের প্রসারণ

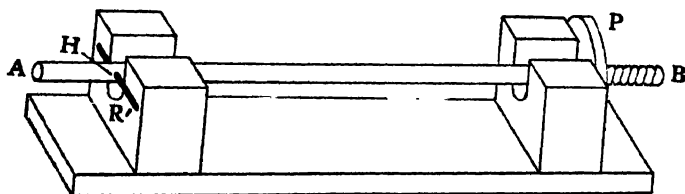
ঠিক পূর্বের মতো মুখে ছিপি ও নলযুক্ত একটি কাচের ফ্লাস্ক লওয়া হইল। ফ্লাস্কের মধ্যে কোনও গ্যাসীয় পদার্থ লইতে হইবে না। কারণ বায়ু আপনা হইতেই রহিয়াছে। নলের মধ্যে এক বিন্দু পারদ বা রঙিন এলকোহল লইতে হইবে। নলটি যদি যথেষ্ট সরু না হয় তাহা হইলে তরল বিন্দু নামিয়া আসিতে পারে, সেইজন্য নলটির যে অংশে তরল বিন্দু আছে তাহা অনুভূমিক হয়। এখন ফ্লাস্কটি গরম জলে ডুবাইয়া দেখা যাইবে তরল বিন্দুটি বাহিরের দিকে স্থানান্তরিত হইতেছে। বলা বাহুল্য, বায়ুর প্রসারণই ইহার কারণ। দেখা যাইবে বায়ুর (বা যে কোনও গ্যাসের) প্রসারণের পরিমাণ খুব বেশী। সেইজন্য নলের অনুভূমিক অংশ বেশ দীর্ঘ হওয়া প্রয়োজন।

৩১নং চিত্র : গ্যাসের প্রসারণ

সকল পদার্থের প্রসারণ সমান নহে

পরীক্ষা : B একটি পিতলের পাত এবং I একটি লোহার পাত। ইহারা একসঙ্গে রিবেট করা অথবা স্ক্রু-এর দ্বারা দৃঢ়ভাবে পরস্পরের গায়ে গায়ে সংলগ্ন আছে। এই অবস্থায় সংযুক্ত পাতটি গরম করিলে দেখা যাইবে চিত্রে যেরূপ দেখান আছে সেইভাবে বাঁকিয়া যাইতেছে। যদি লোহা ও পিতল সমানভাবে প্রসারিত হইত তাহা হইলে এইরূপ হইত না। পিতলের প্রসারণ লোহা অপেক্ষা বেশী, সেইজন্য এইরূপ হইল।

৩২নং চিত্র : বিভিন্ন পদার্থের প্রসারণ

প্রসারণ ও সংকোচনের ফলে বলের উৎপত্তি

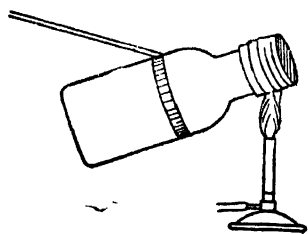
কঠিন বস্তু উষ্ণতার হ্রাসবৃদ্ধির ফলে প্রচণ্ড বল প্রয়োগ করিতে পারে। এই সম্বন্ধে একটি পরীক্ষার বর্ণনা দেওয়া হইল। AB লোহার দণ্ডটির A প্রান্তে H একটি ছিদ্র এবং B প্রান্তে প্যাঁচ কাটা আছে। দণ্ডটি একটি শক্ত ইস্পাতের কাঠামোর মধ্যে রাখিয়া A প্রান্তের ছিদ্রপথে একটি ছোট

৩৩নং চিত্র : সংকোচনের ফলে বলের উৎপত্তি

লোহার সিক R প্রবেশ করান হইল। তাহার পর P চাকতিটি ঘুরাইয়া দণ্ডটির কাঠামোর সহিত আঁটা হইল। এই অবস্থায় AB দণ্ডটির মাঝখানে কয়েকটি বুনসেন দীপ দ্বারা তাপ প্রয়োগ করিলে দণ্ডটির উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্ত প্রসারিত হইবে এবং প্রসারণের ফলে ঢিলা হইয়া যাইবে। এখন চাকতিটি ঘুরাইয়া উহাকে আবার আঁটিয়া দেওয়া হইবে। দণ্ডটি শীতল হইয়া যখন সংকুচিত হইবে তখন প্রচণ্ড বলের দ্বারা R সিকটি বাঁকিয়া যাইবে।

ব্যবহারিক ক্ষেত্রে প্রসারণ

1. রেল লাইনে দুইটি রেল যেখানে ফিশ প্লেট দ্বারা সংযুক্ত হয় সেখানে দুইটি রেলের মাঝখানে ফাঁক রাখিয়া ফিস প্লেটটি এমনভাবে জোড়া হয় যাহাতে তাপের হ্রাসবৃদ্ধির সহিত রেল দুইটি সংকুচিত ও প্রসারিত হইতে পারে। এইরূপ ব্যবস্থা না থাকিলে, অর্থাৎ দুইটি রেল মুখে মুখে জোড়া লাগাইয়া লাইন পাতিলে, গ্রীষ্মের দিনে উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলে লোহার লাইন প্রসারিত হইয়া বাঁকিয়া যাইত।

2. গরুর গাড়ির চাকায় লোহার টায়ার পরাইবার সময়ে প্রসারণকে কাজে লাগান হয়। সাধারণ অবস্থায় লোহার টায়ারটির ভিতরের ব্যাস কাঠের চাকার বাহিরের ব্যাসের চেয়ে সামান্ত ছোট। লাগাইবার পূর্বে টায়ারটি ঘুঁটে বা কাঠের আগুনে গরম করিয়া উহার আয়তন বৃদ্ধি করা হয়। এখন উহা কাঠের চাকায় পরাইয়া জল ঢালিয়া দেওয়া হয়। টায়ারটি সংকুচিত হইয়া চাকার উপর দৃঢ়ভাবে লাগিয়া থাকে।

3. ঔষধ প্রভৃতির শিশির ধাতুনির্মিত ঢাকনা অনেক সময় সহজে খোলা যায় না। তখন ঢাকনাটিকে সামান্য গরম করিলে উহা সহজে খুলিয়া আসে। ইহার কারণ ধাতুর প্রসারণ কাচ অপেক্ষা বেশী। তাহার ফলে তাপ প্রয়োগে ঢাকনাটি শিশির মুখ অপেক্ষা বেশী প্রসারিত হইয়া ঢিলা হইয়া যায়।

৩৪নং চিত্র : তাপপ্রয়োগে শিশির ঢাকনা খোলা

4. ইস্পাতের দ্বারা সেতু প্রভৃতি নির্মাণের সময় ইস্পাতের যে সমস্ত বড় বড় অংশগুলি জোড়া লাগান হয় তাহাদের জোড়ার মুখে যথেষ্ট ফাঁক রাখা হয় এবং তাপের হ্রাসবৃদ্ধির ফলে উহারা যাহাতে সংকুচিত ও প্রসারিত হইতে পারে তাহার উপযুক্ত ব্যবস্থা থাকে।

প্রসারণের গুণাঙ্ক

[Coefficient of Expansions]

দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক : আমরা দেখিয়াছি সকল বস্তুর প্রসারণ সমান নহে। যেমন পিতলের প্রসারণ লোহার প্রসারণ অপেক্ষা বেশী। উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য কোন্ পদার্থ কতটা প্রসারিত হইবে তাহা ঐ পদার্থের একটি বিশেষ ধর্ম। যে কোনও কঠিন পদার্থের কতকগুলি বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের দণ্ড লইয়া উত্তাপ দিলে দেখা যাইবে, নির্দিষ্ট উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য দণ্ডগুলি ঠিক দৈর্ঘ্যের অনুপাতে প্রসারিত হয়। উদাহরণস্বরূপ, এক মিটার দীর্ঘ দণ্ডটি যতখানি প্রসারিত হইবে দুই মিটার দীর্ঘ দণ্ডটির প্রসারণ তাহার ঠিক দ্বিগুণ হইবে। আবার একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের দণ্ড লইয়া উহার উষ্ণতা যত বাড়ান যায় প্রসারণও সেই অনুপাতে বাড়ে।

সংজ্ঞা : কোনও কঠিন পদার্থের একক দৈর্ঘ্য এক ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধিতে যতখানি প্রসারিত হয় তাহাকে উহার দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক বলে। ইহাকে সাধারণত 'α' (আলফা) অক্ষরের দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

মনে করা যাক, 0°C উষ্ণতায় একটি দণ্ডের দৈর্ঘ্য l_1 সে. মি. ; উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইয়া t°C হওয়া দৈর্ঘ্য l_2 সে. মি. হইল। সুতরাং দণ্ডের প্রসারণ $=(l_2-l_1)$ সে. মি. এবং উষ্ণতা বৃদ্ধি $=t$°C.

$\therefore$ l_1 সে. মি. t°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে (l_2-l_1) সে. মি. প্রসারিত হইল,

$\therefore$ 1 „ 1°C „ $\dfrac{l_2-l_1}{l_1.t}$ সে. মি. প্রসারিত হইবে।

$\therefore$ দণ্ডের দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক, $\alpha=\dfrac{l_2-l_1}{l_1.t}$

প্রাথমিক ও প্রান্তিক উষ্ণতা t_1°C, এবং t_2°C হইলে, উষ্ণতার ব্যবধান

$$=(t_2-t_1)^{\circ}\mathrm{C}$$

এবং $\alpha=\dfrac{l_2-l_1}{l_1(t_2-t_1)}$ হইবে।

গুণাঙ্কের পরিমাণ: কঠিন পদার্থ তাপের দ্বারা অতি সামান্য প্রসারিত হয়। সেইজন্য কঠিন পদার্থের প্রসারণের গুণাঙ্ক পরিমাণে অত্যন্ত ছোট। উদাহরণস্বরূপ, লোহার দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ·000012. ইহার অর্থ:

1 ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে:
1 সে. মি. দীর্ঘ লৌহদণ্ড ·000012 সে. মি.
বা $\frac{12}{1000000}$ সে. মি. বৃদ্ধি পায়;
1 ইঞ্চি ,, ,, $\frac{12}{1000000}$
1 গজ ,, ,, $\frac{12}{1000000}$ গজ……,,
1 মাইল ,, ,, $\frac{12}{1000000}$ মাইল……,, ,, ইত্যাদি।

আরও দেখা যাইতেছে দৈর্ঘ্য প্রসারণের **গুণাঙ্ক দৈর্ঘ্যের এককের উপর নির্ভর করে না।** কারণ ইহা প্রসারণ ও মূল দৈর্ঘ্যের অনুপাতকে প্রকাশ করে। কিন্তু উষ্ণতার স্কেল অনুসারে গুণাঙ্কের মান পরিবর্তিত হয়। কারণ বিভিন্ন স্কেলে এক ডিগ্রীর পরিমাণ সমান নহে। আমরা পূর্বে দেখিয়াছি:

1°ফা. ঘর $=(\frac{5}{9})$ সে ঘর

সুতরাং প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক যাহা হইবে প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইটে প্রকাশ করিলে গুণাঙ্ক তাহার $\frac{5}{9}$ অংশ হইবে। উদাহরণস্বরূপ:

কোনও পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ·000018 হইলে, প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইটে ঐ গুণাঙ্ক $\cdot000018\times\frac{5}{9}$ বা ·00001 হইবে।

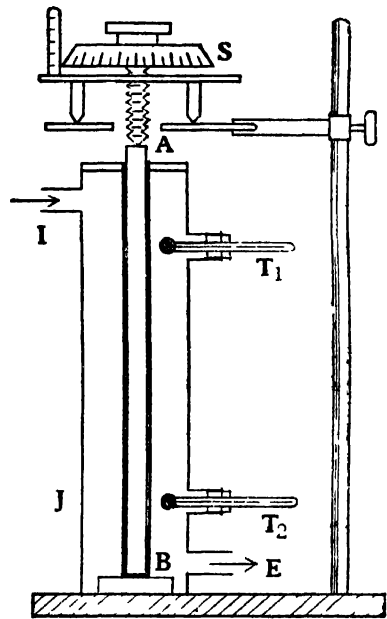
দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্কের তালিকা

কয়েকটি কঠিন পদার্থের গুণাঙ্কের একটি তালিকা এখানে দেওয়া হইল:

পদার্থ	গুণাঙ্ক (প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড)
লোহা—	·000012
তামা—	·000017
পিতল—	·000019
প্লাটিনাম—	·0000095
কাচ—	·0000089

দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয়

পুলিঞ্জারের প্রণালী (Pullinger's Method) : দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয়ের জন্য পুলিঞ্জারের প্রণালীটি এখানে আলোচিত হইতেছে। যে পদার্থের গুণাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে তাহা দ্বারা AB রডটি নির্মিত। ইহার দৈর্ঘ্য স্কেল দ্বারা মাপিয়া ইহাকে J চিহ্নিত ফাঁপা নলটির ভিতরে একটি স্লেটের টুকরার উপর দাঁড় করাইয়া রাখা হইল। T_1 ও T_2 থার্মোমিটার দুইটির পাঠ লইয়া তাহার গড় লওয়া হইল। ইহা রডটির প্রাথমিক উষ্ণতা।

তারপর S স্ফেরোমিটারটি উপরে বসান হইল যাহাতে উহার মাঝখানের পায়াটি ঠিক রডের উপরে থাকে। এখন স্ফেরোমিটারের স্ক্রু ঘুরাইয়া উহার মাঝখানের পায়াটিকে রডের উপরের প্রান্তকে ঠিক স্পর্শ করা হইল এবং স্ফেরোমিটারের রৈখিক ও বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ লওয়া হইল। ইহা স্ফেরোমিটারের প্রাথমিক পাঠ। তারপর স্ফেরোমিটারের মাঝখানের পায়াকে ঘুরাইয়া খানিকটা উপরে তুলিয়া দেওয়া হইল। এইবার I পার্শ্ব-নলটি একটি রবারের নলের সাহায্যে বাষ্পাধারে সংযুক্ত করা হইল। E পার্শ্বনলের পথে বাষ্প বাহির হইতে লাগিল। বেশ কিছুক্ষণ বাষ্প চালনার পর যখন দেখা গেল থার্মোমিটার দুইটি প্রায় একই নির্দিষ্ট তাপাঙ্কে উঠিয়া স্থির আছে তখন উহাদের পাঠ লওয়া হইল। এই দুইটির পাঠের গড়ই অন্ত-উষ্ণতা।

৩৫নং চিত্র : পুলিঞ্জারের যন্ত্র

রডটি স্লেটের উপর অবস্থান করার জন্য ইহা কেবল উপরের দিকেই প্রসারিত হইবে।

এখন স্ফেরোমিটারের স্ক্রু ঘুরাইয়া উহার মাঝখানের পায়াকে আবার নামাইয়া AB নলের উপরে ঠিক স্পর্শ করান হইল এবং উহার রৈখিক ও বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ লওয়া হইল। স্ফেরোমিটারের পাঠের পার্থক্য হইতে মোট প্রসারণ $(l_2 - l_1)$ পাওয়া যাইবে। থার্মোমিটারে প্রাথমিক ও অন্ত-উষ্ণতা যথাক্রমে t_1 ও t_2 ডিগ্রী হইলে, $\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1 (t_2 - t_1)}$ সূত্র প্রয়োগে রডটির উপাদানের দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যাইবে।

উদাহরণ 1 : লোহার দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ·000012 ; একটি 50 সে. মি. দীর্ঘ লৌহদণ্ডের উষ্ণতা 20° সে. বাড়িলে উহার দৈর্ঘ্য কত বাড়িবে ?

আমরা জানি :

$\frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)} = \alpha$ যখন l_2 = ঊর্ধ্ব উষ্ণতায় দৈর্ঘ্যে $t_2 - t_1$ = উষ্ণতার ব্যবধান।

t_1 = নিম্ন " " α = প্রসারণের গুণাঙ্ক।

সুতরাং, $(l_2 - l_1) = \alpha\, l_1\, (t_2 - t_1)$

এখানে, α = প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ·000012

$l_1 = 50$ সে. মি.

$t_2 - t_1 = 20^\circ$ সে,

$\therefore\ l_2 - l_1 = {\cdot}000012 \times 50 \times 20$ সে. মি.

$= {\cdot}$**012** সে. মি.

উদাহরণ 2 : এক মিটার দীর্ঘ একটি তামার দণ্ডের উষ্ণতা 30° সে. হইতে 100° সে. করায় উহার দৈর্ঘ্য ·1169 সে. মি. প্রসারিত হইল। তামার দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক কত ?

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)}$$

এখানে $l_2 - l_1$ = দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি = ·1169 সে. মি.

$l_1 = 1$ মিটার $= 100$ সে. মি.

$t_2 - t_1 = (100 - 30)^\circ$ সে. $= 70^\circ$ সে.

সুতরাং $\alpha = \frac{{\cdot}1169}{100 \times 70}$ (ডিগ্রী সে. প্রতি)

$= {\cdot}$**0000167** ডিগ্রী সে. প্রতি।

উদাহরণ 3 : একটি পিতলের স্কেল 0 সে. উষ্ণতায় ঠিক মাপ নির্দেশ করে। 40° সে. উষ্ণতায় উহা দ্বারা কোনও দণ্ডের দৈর্ঘ্য 32 সে. মি. মাপা হইল। দণ্ডটির প্রকৃত দৈর্ঘ্য কত? [পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক = ·000019 ডিগ্রী সে. প্রতি।]

স্কেলের ঘরগুলি 0° সে. উষ্ণতায় ঠিক, 40° সে. উষ্ণতায় ঘরগুলি প্রসারিত হইয়াছে। সুতরাং প্রকৃত দৈর্ঘ্য 32 সে. মি. অপেক্ষা বেশী।

এখন $l_2 = l_1\{1 + \alpha(t_2 - t_1)\}$.

এখানে $l_1 = 32$ সে. মি.

α = 000019 ডিগ্রী সে. প্রতি

$t_2 - t_1 = (40 - 0)^\circ$ সে. $= 40^\circ$ সে.

l_2 = প্রকৃত দৈর্ঘ্য।

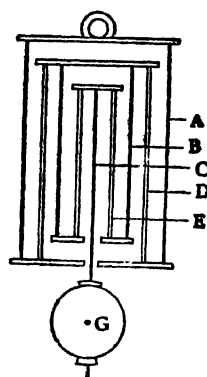
সুতরাং $l_2 = 32\{1 + {\cdot}000019 \times 40\}$

$= (32 + {\cdot}02432)$ সে. মি.

$=$ **32·02432** সে. মি.

সংশোধিত দোলক
[Compensated Pendulum]

বড় দেওয়াল-ঘড়িতে দোলক ব্যবহৃত হয়। দোলকের দোলনের তালে তালে ঘড়ির কাঁটা ঘুরিয়া যায়, তাহার ফলে ঘড়ি ঠিক সময় দেয়। অতএব ঘড়ির ঠিকভাবে চলিতে হইলে, উহার দোলকের দোলনকাল অপরিবর্তিত থাকা প্রয়োজন। কিন্তু আবহাওয়ার উষ্ণতা সর্বদা পরিবর্তিত হয় এবং তাহার সহিত ধাতুনির্মিত দোলকদণ্ডের দৈর্ঘ্যও পরিবর্তিত হয়। উষ্ণতা বাড়িলে দোলকের দৈর্ঘ্য বাড়ে এবং দোলনকালও বাড়ে তাহার ফলে ঘড়ি শ্লথগতি (slow) হয়। আবার উষ্ণতা কমিলে ঘড়ি দ্রুত (fast) যায়। ঘড়ির এই ত্রুটি সংশোধনের জন্য সংশোধিত দোলক উদ্ভাবন করা হইয়াছে।

হ্যারিসনের সংশোধিত দোলক (Harrison Gridrion Pendulum): এই দোলকের দণ্ড কতকগুলি সমান্তরাল লোহা ও পিতলের দণ্ড দ্বারা তৈয়ারি করা হয়। A, B এবং C তিনটি লোহার দণ্ড এবং D, E দুইটি পিতলের দণ্ড। দণ্ডগুলি আড়াআড়িভাবে ধাতুর টুকরার দ্বারা জোড়া থাকে। দণ্ডগুলি এমনভাবে তৈয়ারী যে লোহার দণ্ড তিনটি বাড়িলে দোলকপিণ্ডটি নীচে নামে এবং পিতলের দণ্ডগুলি বাড়িলে দোলক-পিণ্ডটি উপরে উঠে। লোহা ও পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে যথাক্রমে ·000012 এবং ·000018. সুতরাং লৌহদণ্ড-গুলির দৈর্ঘ্যসমষ্টি $3l$ এবং পিতলের দণ্ড দুইটির দৈর্ঘ্যসমষ্টি $2l$ হইলে, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধিতে উহাদের প্রসারণ যথাক্রমে $\cdot000012 \times 3l$ এবং $\cdot000018 \times 2l$ অর্থাৎ উভয় ক্ষেত্রেই $\cdot000036l$ হইবে। সুতরাং লৌহদণ্ডগুলি দোলকপিণ্ডকে যতটা নামাইবে পিতলের দণ্ডগুলি ঠিক ততটা উপরে তুলিবে। তাহার ফলে দোলক-দৈর্ঘ্যের কোনও পরিবর্তন হইবে না। দোলকটির প্রতিসাম্য (symmetry) রক্ষার জন্য অবশ্য এই পাঁচটি ধাতুদণ্ডের সহিত সমান্তরালভাবে বিপরীত দিকে ঠিক একইপ্রকার আরও চারিটি ধাতুদণ্ড সংযুক্ত থাকিবে। এরূপ দোলক ব্যবহার করিলে আবহাওয়ার উষ্ণতার তারতম্য ঘটিলেও ঘড়ি ঠিক সময় নির্দেশ করিবে।

৩৬নং চিত্র : হ্যারিসনের সংশোধিত দোলক

আজকাল দোলকের সংশোধন অনেক সহজ হইয়াছে। ইনভার (Invar) নামক একপ্রকার মিশ্রধাতুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণের গুণাঙ্ক অত্যন্ত কম। 36% নিকেল মিশাইয়া নিকেল-ইস্পাতের মিশ্রধাতু প্রস্তুত করিলে

তাহাকে **ইনভার** বলে। ইনভারের একটি দণ্ড দ্বারা দোলকদণ্ড প্রস্তুত করা হয় এবং উহার নীচে একটি ইস্পাতের ছোট চোঙাকৃতি বস্তু C স্ক্রুর সাহায্যে দণ্ডের সহিত সংযুক্ত থাকে। চোঙটির দৈর্ঘ্য এইরূপ যে ইনভার-দণ্ড যতটা বাড়ে চোঙও ঠিক ততটা উপরের দিকে বাড়িয়া উহার ভরকেন্দ্রকে উপরে তোলে। তাহার ফলে দোলক-দৈর্ঘ্যের কোনও পরিবর্তন হয় না।

উদাহরণ: একটি হ্যারিসনের সংশোধিত দোলক নির্মাণ করিতে হইবে। উহার লোহার দণ্ড তিনটির দৈর্ঘ্য-সমষ্টি 297 সে. মি. হইলে, পিতলের দণ্ড দুইটির দৈর্ঘ্য-সমষ্টি কত হইবে?

লোহার দণ্ডগুলির দৈর্ঘ্য-সমষ্টি $3l$ সে. মি. হইলে, পিতলের দণ্ড দুইটির দৈর্ঘ্য-সমষ্টি $2l$ সে. মি. হইবে।

সুতরাং, $3l = 297$

$\therefore \quad 2l = \frac{297}{3} \times 2 = 198$

নির্ণেয়-দৈর্ঘ্য-সমষ্টি $= 198$ সে. মি.

৩৭নং চিত্র: ইনভার-দণ্ডের দোলক

* তলের প্রসারণ ও তাহার গুণাঙ্ক

[Surface Expansion and its Co-efficient]

কোনও বস্তুকে উত্তপ্ত করিলে তাহার সকল দিকেই প্রসারণ ঘটে। সুতরাং উহার যে কোনও তল দৈর্ঘ্য এবং প্রস্থ উভয় দিকেই বাড়িবে এবং তাহার ফলে তলের ক্ষেত্রফলও বাড়িবে। **প্রতি ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য কোনও পদার্থের একক ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট তলের যে বৃদ্ধি হয় তাহাকে ঐ পদার্থের তরল প্রসারণের গুণাঙ্ক বলে।** 'β' (বিটা) অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

৩৮নং চিত্র: তলের প্রসারণ

মনে করা যাক্, 0° ডিগ্রী তাপমাত্রায় কোনও তলের ক্ষেত্রফল S_0 এবং t^0 ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে উহার ক্ষেত্রফল S_t; তাহা হইলে:

S_0 ক্ষেত্রফলের তল t^0 ডিগ্রী সে. উষ্ণতা বৃদ্ধিতে $(S_t - S_0)$ বাড়ে

$\therefore$ 1 একক " " 1 " " " " $\frac{S_t - S_0}{S_0 t}$

সুতরাং সংজ্ঞা অনুসারে আলোচ্য তলের $\beta = \dfrac{S_t - S_0}{S_0 t}$... (i)

আবার, (i) হইতে $S_t = S_0(1+\beta t)$ ... ... (ii)

'β' ও 'α'-র সম্বন্ধ :

৩৮নং চিত্রে, ABCD তলটি l_0 দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি বর্গক্ষেত্র এবং ইহার ক্ষেত্রফল S_0 হইলে,

$$S_0 = l_0^2$$

এখন করা যাক্, তাপমাত্রা $t°$ ডিগ্রী বৃদ্ধি পাওয়ায় দৈর্ঘ্য l_t এবং ক্ষেত্রফল S_t হইল ; অর্থাৎ, S_t = AEGH হইল। তাহা হইলে সংজ্ঞানুসারে :

$$l_t = l_0(1+\alpha t) \qquad \text{কিন্তু } S_0 = l_0^2$$

$$S_t = S_0(1+\beta t) \cdots \text{(i)} \qquad S_t = l_t^2$$

$$\therefore \quad l_t^2 = l_0^2(1+\alpha t)^2$$

অর্থাৎ, $S_t = S_0(1+\alpha t)^2 = S_0(1+2\alpha t+\alpha^2 t^2)$

কিন্তু α অত্যন্ত ছোট রাশি ; অতএব ইহার বর্গ এত ছোট যে অনায়াসে তাহাকে উপেক্ষা করা চলে।*

সুতরাং, $S_t = S_0\ (1+2\alpha t) \cdots\cdots$ (ii)

(i) এবং (ii) হইতে S_t-এর মানকে সমান ধরিলে :

$$S_0(1+\beta t) = S_0(1+2\alpha t)$$

বা, $1+\beta t = 1+2\alpha t$; (S_0 দ্বারা উভয় পক্ষ ভাগ করিয়া)

বা, $\beta t = 2\alpha t$; উভয় পক্ষ হইতে 1 বিয়োগ করিয়া)

বা, $\beta = 2\alpha$; (t দ্বারা ভাগ কয়িয়া)

আয়তনের প্রসারণ ও তাহার গুণাঙ্ক

[Volume Expansion and its Co-efficient]

তাপ প্রয়োগে বস্তুর আয়তনের প্রসারণ ঘটে। **প্রতি ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধিতে কোনও পদার্শের একক আয়তনের যে প্রসারণ ঘটে তাহাকে ঐ পদার্থের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক বলে** (Co-efficient of Volume Expansion)। ইহাকে 'γ' (গামা) অক্ষরের দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

মনে করা যাক্, শূন্য ডিগ্রী তাপমাত্রায় কোনও বস্তুর আয়তন V_0 এবং $t°$ ডিগ্রী তাপমাত্রায় উহার আয়তন V_t

তাহা হইলে, V_0 আয়তনের $t°$ ডিগ্রী উষ্ণতা বাড়িলে $(V_t - V_0)$ আয়তন বাড়ে

$\therefore$ একক আয়তনে 1 ডিগ্রী উষ্ণতা বাড়িলে $\dfrac{V_t - V_0}{V_0 t}$ আয়তনে বাড়ে

সুতরাং, সংজ্ঞানুসারে $\gamma = \dfrac{V_t - V_0}{V_0 t}$

*উদাহরণস্বরূপ, α যদি ·00002 হয়, তাহা হইলে α^2 = ·0000000004.

অথবা, $V_t = V_0(1+\gamma_t)$

γ ও α-র সম্বন্ধ :

কোন ঘনাকার (cube) বস্তুর দৈর্ঘ্য 0° ডিগ্রীতে l_0 এবং t° ডিগ্রীতে l_t হইলে :

$l_t = l_0(1+\alpha t) \quad \cdots$(i)

এবং $V_t = V_0(1+\gamma t)$

$\therefore \quad l_t^3 = l_0^3(1+\gamma t)$.

যেহেতু, $V_0 = l_0^3$
$V_t = l_t^3$

আবার (i)-এর উভয় পক্ষকে তৃতীয় ঘাতে তুলিলে :

$$l_t^3 = l_0^3(1+\alpha t)^3 \quad \cdots \quad \cdots \text{(ii)}$$

$\therefore$ (i) ও (ii) হইতে l_t^3-এর উভয় মানকে সমান লিখিলে :

$$l_0^3(1+\gamma t) = l_0^3(1+\alpha t)^3$$
$$= l_0^3(1+3\alpha t+3\alpha^2 t^2+\alpha^3 t^3).$$

α^2 এবং α^3 অত্যন্ত ছোট রাশি হওয়ায় ইহাদের বর্জন করা যায়।

সুতরাং, $l_0^3(1+\gamma t) = l_0^3(1+3\alpha t)$

বা, $1+\gamma t = 1+3\alpha t$, [l_0^3 দ্বারা উভয় পক্ষকে ভাগ করিয়া]

বা, $\gamma t = 3\alpha t$

বা, $\gamma = 3\alpha$.

α, β ও γ-র মধ্যে সম্পর্ক :

আমরা দেখিয়াছি $2\alpha = \beta$ এবং $3\alpha = \gamma$

$$\therefore \quad \alpha = \frac{\beta}{2} \text{ এবং } \alpha = \frac{\gamma}{3}$$

সুতরাং, $$\alpha = \frac{\beta}{2} = \frac{\gamma}{3}.$$

অতএব কোনও বস্তুর 'α'-র মান জানা থাকিলে β ও γ-র মানও জানা যায়।

সারাংশ

সাধারণত তাপের দ্বারা সকল বস্তুর প্রসারণ হয়। কঠিন বস্তুর প্রসারণের পরিমাণ খুব সামান্য ; তরলের ক্ষেত্রে ইহা কিছু বেশী ; গ্যাসীয় পদার্থের ক্ষেত্রে প্রসারণ খুব বেশী। সকল পদার্থের প্রসারণ সমান নহে। প্রসারণ ও সংকোচনের সময়ে বস্তু প্রচণ্ড বল প্রয়োগ করিতে পারে।

দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক (α) (Co-efficient of Linear Expansion) : একক দৈর্ঘ্যের কোনও বস্তুর এক ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য প্রসারণকে দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক বলে। t_1° ও t_2° উষ্ণতায় কোনও বস্তুর দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l_1 ও l_2, এবং উহার দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক α হইলে,

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)}.$$

সংশোধিত দোলক : লোহা ও পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক α_1 ও α_2 হইলে এবং 5টি লোহার ও 4টি পিতলের দণ্ড লইয়া সংশোধিত দোলক প্রস্তুত করিলে, প্রত্যেক লোহা ও পিতলের দণ্ডের উপযুক্ত দৈর্ঘ্য $3l_1 = 2l_2$ সূত্র হইতে পাওয়া যাইবে।

তরল প্রসারণের গুণাঙ্ক (β) (Co-efficient of Surface Expansion) : একক ক্ষেত্রফলের তল এক ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যতটা প্রসারিত হয়, তাহাকে তল-প্রসারণের গুণাঙ্ক বলে। S_1 ও S_2 কোনও তলের $t_1°$ ও $t_2°$ উষ্ণতার আয়তন হইলে, $\beta = \frac{S_2 - S_1}{S_1(t_1 - t_1)}$.

আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক (γ) (Co-efficient of Cubical Expansion) : একক আয়তনের কোনও বস্তুর এক ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যতটা আয়তন বৃদ্ধি হয় তাহাকে আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক বলে। $t_1°$ ও $t_2°$ উষ্ণতায় কোনও বস্তুর আয়তন যথাক্রমে V_1 ও V_2 হইলে,

$$\gamma = \frac{V_2 - V_1}{V_1(t_2 - t_1)}.$$

α, β, γ, ইহারা দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্রফল বা আয়তনের এককের উপর নির্ভর করে না; কিন্তু সেণ্টিগ্রেড বা ফারেনহাইট স্কেলের উপর নির্ভর করে।

α, β ও γ **ইহাদের মধ্যে সম্বন্ধ :**

$$\alpha = \frac{\beta}{2} = \frac{\gamma}{3}.$$

অনুশীলনী

1. *What do you mean by the statement, 'Co-efficient of linear expansion of copper is ·000017/°C. ? Does this co-efficient depend on the unit of length and the scale of tempa-rature ?*

2. *Co-efficient of linear expansion for brass is ·000019/°C. A brass rod is 1 metre long at 0°C. What will be its expansion at 100°C ? Will this expansion be different if the rod be hollow or solid, narrow or wide, or again of rectangular or circular cross-section ? Give reasons for your answer.*

3. *Describe a method for determining the co-efficient of linear expansion of a solid.*

4. *What will be the expansion of a copper rod one metre long for a rise of temperature of 20°C ?*

5. *What will be the expansion of an iron bridge 400ft. long for a rise of temperature of 30°F, α for iron being ·000012/°C?*

6. *A scale made of steel measures correctly at 0°C. When atmospheric temperature in 42°C, a rod is found to be 80 inches long when measured with this scale. What is the correct length of the rod?* [α *steel* = ·000011/°C]

7. *What is the defect of a clock run by an ordinary pendulum? How has this defect been remedied in Harrison's compensated pendulum? If the total length of the iron rods of a compensated pendulum be 99 c.m., what will be the total of the brass rods?*

8. *Define co-efficient of surface and volume expansion. How are they related with co-efficient of linear expansion? Deduce the relations.*

9. *The diameter of a copper disc in 14 inches at 20°C. What will be its area at 35°C, α for copper being ·000017/C?*

10. *Each side of a bass cube is 5 inches in length. If temperature rises by 10°C, what will be the area of each surface and the volume of the whole cube?*

11. *A rectangular plate of iron (α = ·000012/°C) is 1 square metre in area at 0°C. What will be its area at 200°C?*

12. *The volume of a brass ball is 200 c.c. at 20°C. What will be its volume at 140°C, given α for brass = ·000019/°C?*

13. *The capacity of a glass vessel at 0°C is 2·5 litres. What will be its capacity at 100°C?* [α *for glass* = ·0000095/°C]

॥ উত্তর ॥

2. 0·19 সে. মি., 4. 0·034 সে. মি.
5. 0·08 ফুট, 6. 80·037 ইঞ্চি,
8. 66 সে.মি., 9. 154·079 বর্গইঞ্চি,
10. 0·0095 বর্গইঞ্চি এবং 125·071 ঘনইঞ্চি, 11. 1·0048 বর্গ মিটার,
12. 221·505 সি. সি., 13. 2·5071 লিটার

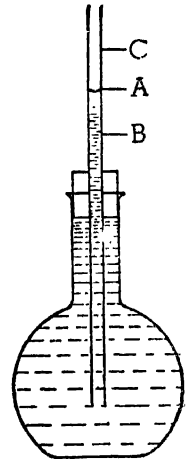
সপ্তম অধ্যায়

তরল ও গ্যাসের প্রসারণ

[Expansion of Liquids and Gases]

তরলের প্রসারণ

তরল পদার্থও উত্তাপ দিলে কঠিন পদার্থের ন্যায় প্রসারিত হয়। কিন্তু তরল পদার্থের কোনও নির্দিষ্ট আকার নাই। সুতরাং ইহার দৈর্ঘ্য বা তলের প্রসারণ মাপা যায় না। কেবল আয়তন প্রসারণই এখানে বিবেচ্য বিষয়। তরলের প্রসারণ প্রদর্শনের জন্য পরীক্ষার কথা পূর্বেই বলা হইয়াছে। এখানে তরলের প্রসারণ মাপিবার প্রণালী বর্ণিত হইবে।

পরীক্ষা ঃ একটি কাচের ফ্লাস্ক জলে পূর্ণ করিয়া ছিপি দ্বারা শক্ত করিয়া বন্ধ করা হইল। ছিপির ছিদ্রপথে একটি সরু কাচের নল প্রবেশ করান থাকিবে। মনে করা যাক্, প্রথমে ঐ নলের মধ্যে তরল A বিন্দু পর্যন্ত আছে। এখন নলের তরলস্তম্ভের দিকে নজর রাখিয়া ফ্লাস্কটি একটি বড় গরম জলের পাত্রে ডুবাইয়া দিলে দেখা যাইবে, প্রথমে তরলস্তম্ভের উপরের প্রান্ত A হইতে B বিন্দুতে নামিয়া আসিল। তারপর আবার উঠিয়া A বিন্দুকে ছাড়াইয়া C বিন্দুতে উঠিয়া দাঁড়াইল। ইহার কারণ, গরম জলে ডুবাইলে কাচের পাত্রটি গরম জলের সংস্পর্শে আসিয়া প্রথমে প্রসারিত হয়, তাহার ফলে পাত্রের ভিতরের আয়তন বৃদ্ধি পায় এবং তরল নীচে নামিয়া আসে। কিন্তু অল্পক্ষণের মধ্যে বাহিরের গরম জল হইতে তাপ লইয়া ভিতরের তরলও গরম হয় এবং প্রসারিত হয়। তরলের প্রসারণ সর্বদা কঠিনের প্রসারণ অপেক্ষা বেশী। সেইজন্য তরল উপরে উঠে। সুতরাং তরলের প্রসারণ নির্ণয় করিতে গেলে পাত্রের প্রসারণও সর্বদা আসিয়া পড়ে। এই পরীক্ষা হইলে বলা যাইতে পারে ঃ

৩৯নং চিত্র ঃ
তরলের প্রসারণ

AB = পাত্রের প্রসারণ

AC = তরলের আপাত প্রসারণ

BC = " প্রকৃত প্রসারণ।

কিন্তু, BC = AC + AB ... ... (i)

সুতরাং, **তরলের প্রকৃত প্রসারণ**

= তরলের আপাত প্রসারণ + পাত্রের প্রসারণ।

মনে করা যাক্, সরু নলটির ভিতরের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল = S.

সুতরাং, AB দৈর্ঘ্যের তরলের আয়তন = AB × S

এবং AC " " " = AC × S

BC " " " = BC × S

এখন যদি সমগ্র পাত্রের তরলের আয়তন V এবং উষ্ণতা বৃদ্ধি θ ডিগ্রী হয়; এবং γ, γ' ও γ_g যথাক্রমে তরলের প্রকৃত ও আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক এবং পাত্রের উপাদানের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক হয় তাহা হইলে,

$$\gamma = \frac{\text{তরলের প্রকৃত প্রসারণ}}{\text{তরলের প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}} = \frac{S.BC}{V \times \theta}$$

$$\gamma' = \frac{\text{তরলের আপাত প্রসারণ}}{\text{তরলের প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}} = \frac{S.AC}{V \times \theta}$$

$$\gamma_g = \frac{\text{পাত্রের প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}} = \frac{S.AB}{V \times \theta}$$

কিন্তু, $BC = AC + AB$

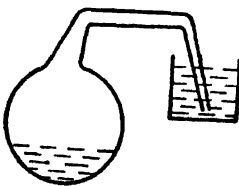
$$\therefore \quad \frac{S.\,BC}{V.\,\theta} = \frac{S.\,AC}{V.\,\theta} + \frac{S.\,AB}{V.\,\theta}$$

অর্থাৎ, $\gamma = \gamma' + \gamma_g$

তরলের আপাত প্রসারণ নির্ণয়

[Determination of apparent expansion of a liquid]

প্রথম প্রণালী : এই প্রণালীতে একটি কাচের ফ্লাস্কে তরল লওয়া হইবে। ফ্লাস্কের মুখের নলটি খুব সরু ও লম্বা হইবে। ফ্লাস্কটি একটি বড় ঠাণ্ডা জলের পাত্রে ডুবাইয়া নলের মধ্যে তরলের উপরিতলের অবস্থান লক্ষ্য করিতে হইবে। জলের পাত্রে একটি থার্মোমিটার ডুবাইয়া জলের উষ্ণতা জানা যাইবে। তারপর ফ্লাস্কটি গরম জলের পাত্রে ডুবাইয়া কিছুক্ষণ পরে আবার নলের মধ্যে তরলের অবস্থান লক্ষ্য করিতে হইবে। গরম জলের পাত্রে থার্মোমিটার ডুবাইয়া উহার উষ্ণতা পুনরায় জানিতে হইবে। নলের মধ্যে তরলের প্রারম্ভিক ও অন্ত-অবস্থান হইতে তরলের আপাত প্রসারণ নির্ণয় করা যাইবে। এখন ফ্লাস্কের ভিতরের আয়তন জানা থাকিলেই তরলের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক পাওয়া যাইবে। কাচের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক উহার সহিত যোগ করিলে তরলের প্রকৃত প্রসারণ জানা যাইবে।

দ্বিতীয় প্রণালী : ওজন থার্মোমিটার দ্বারা (by weight thermometer): ওজন থার্মোমিটার একটি কাচের ছোট বালব। ইহার গলাটি দীর্ঘ সরু ও বাঁকানো (চিত্রের মতো। বালবটি প্রথমে শূন্য অবস্থায় ওজন করা হয়। এখন সরু নলের মুখ পরীক্ষণীয় তরলের মধ্যে ডুবাইয়া রাখিয়া বালবে তাপ দিলে কিছু বায়ু প্রসারিত হইয়া বাহির হইয়া যায়। আবার ঠাণ্ডা করিলে বায়ু সংকুচিত হয় এবং কিছু তরল ভিতরে প্রবেশ করে। এইভাবে বারবার গরম ও ঠাণ্ডা করিয়া

৪০নং চিত্র : ওজন থার্মোমিটার

তরল দ্বারা বালবটি পূর্ণ করা হয়। তারপর বালবটির মুখ তরলে ডুবাইয়া বালবটিকে বেশ কিছুক্ষণ ঘরের উষ্ণতায় অবস্থিত জলে ডুবাইয়া রাখা হয় এখন উহাকে তুলিয়া বাহিরের গা ভাল করিয়া মুছিয়া আবার ওজন করা হয়। তারপর বালবটিকে জানা উষ্ণতাবিশিষ্ট গরম জলে বেশ কিছুক্ষণ ডুবাইয়া রাখা হয়। বালবের তরল প্রসারিত হইয়া অতিরিক্ত তরল বাহিরে পড়ে। যখন আর তরল বাহির হয় না তখন বুঝিতে হইবে ভিতরের তরল গরম জলের উষ্ণতায় উঠিয়াছে। এখন গরম জল হইতে তুলিয়া লইয়া বালবের বাহিরের গা ভাল করিয়া মুছিয়া ঠাণ্ডা হইলে উহাকে ওজন করা হয়। ভিতরের তরল এখন সংকুচিত হইয়া অল্প স্থান জুড়িয়া থাকে।

এখন মনে করা যাক :

ω_1 গ্রাম = শূন্য বালবের ওজন

ω_2 গ্রাম = t_1° সে. (ঘরের তাপাঙ্কে) উষ্ণতায় তরলপূর্ণ অবস্থায় ওজন।

ω_3 গ্রাম = t_2° সে. (গরম জলের তাপাঙ্কে) উষ্ণতায় তরলপূর্ণ অবস্থায় ওজন

$\therefore$ $t_1{}^\circ C$ তাপাঙ্কে যতখানি তরল বালবকে পূর্ণ করে $= \omega_2 - \omega_1$
$= m_1$ গ্রাম (ধরা যাক)

এবং $t_2{}^\circ C$ তাপাঙ্কে যতখানি জল পাত্রকে পূর্ণ করে
$= \omega_3 - \omega_1 = m_2$ গ্রাম (ধরা যাক্)

সুতরাং পাত্রের প্রসারণকে উপেক্ষা করিলে $t_1{}^\circ C$ তাপাঙ্কে m_1 গ্রাম তরলের আয়তন $= t_2^\circ$ সে. তাপাঙ্কে m_2 গ্রাম তরলের আয়তন।

এখন যদি t_1° সে. তাপাঙ্কে তরলের ঘনত্ব $= d$ গ্রাম./ সি. সি. হয়, তাহা হইলে t_1° সে. তাপাঙ্কে m_1 গ্রামের আয়তন $= \frac{m_1}{d}$ সি. সি. = সমগ্র বালবের আয়তন এবং t_1° সে. তাপাঙ্কে m_2 গ্রামের আয়তন $= \frac{m_2}{d}$ সি. সি.

কিন্তু m_2 গ্রাম তরল t_2° সে. তাপাঙ্কে সমগ্র বালবের আয়তন বা $\frac{m_1}{d}$ সি. সি. স্থান অধিকার করে।

$\therefore t_1^\circ$ সে. উষ্ণতায় $\frac{m_2}{d}$ সি. সি.-র আয়তন t_2° সে. উষ্ণতায় প্রসারিত হইয়া $\frac{m_1}{d}$ সি. সি. হয়।

সুতরাং তরলের আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক,

$$\gamma' = \frac{\text{তরলের আপাত প্রসারণ}}{\text{পূর্বের আয়তন} \times \text{উষ্ণতার ব্যবধান}} = \frac{\frac{m_1}{d} - \frac{m_2}{d}}{\frac{m^2}{d} \times (t_2 - t_1)}$$

$$=\frac{m_1-m_2}{m_2(t_2-t_1)}$$

$$=\frac{\text{নির্গলিত তরলের ভর}}{\text{পাত্রে অবশিষ্ট তরলের ভর} \times \text{উষ্ণতার ব্যবধান}}$$

উদাহরণ 1 : একটি ওজন থার্মোমিটার 0° সে. তাপাঙ্কে 300 গ্রাম পারদ ধরে। 80° সে. তাপকে ইহা হইতে 3·56 গ্রাম নির্গলিত হয়। কাচের পাত্রে পারদের আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক কত ?

$$\gamma'=\frac{\text{নির্গলিত তরলের ভর}}{\text{অবশিষ্ট তরলের ভর} \times \text{উষ্ণতার ব্যবধান}}$$

$$=\frac{3{\cdot}56}{(300-3{\cdot}56)\times 80}=\cdot000151/°\text{সে.}$$

উদাহরণ 3 : একটি কাচের বোতলে 20° সে. উষ্ণতায় 2000 গ্রাম জল ধরে। বোতলের উষ্ণতা 40° সে. হইলে, কতখানি জল বাহির হইবে ? 20° সে. হইতে 40° সে. তাপাঙ্কের মধ্যে জলের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক

$=30{\cdot}2\times10^{-5}/°C$ এবং কাঁচের দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক $=\cdot000009/°C$

কাচের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক $\gamma_g=3\alpha_g=3\times\cdot000009/°C$

$$=\cdot000027/°C$$

∴ কাচের পাত্রে জলের আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক

$$=\gamma'=\gamma-\gamma_g=\cdot000302-\cdot000027/°C.=\cdot000275/°C$$

এখন মনে করা যাক্, নির্ণেয় নির্গলিত তরলের ভর $=x$ গ্রাম

$$\therefore\quad \gamma'=\frac{x}{(2000-x)\times(40-20)}=\frac{x}{(2000-x)\times 20}$$

বা, $\cdot000275=\dfrac{x}{40000-20x}$

বা, $11-\cdot0055x=x$

বা, $1{\cdot}0055x=11$

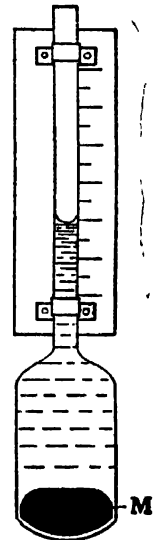
$$\therefore\quad x=\frac{11}{1{\cdot}0055}=10{\cdot}94$$

সুতরাং নির্ণেয় তরলের ভর $=$ **10·94** গ্রাম।

তরলের প্রকৃত প্রসারণ নির্ণয়

[Determination of real expansion of a liquid]

প্রথম প্রণালী : পূর্বে বর্ণিত যে কোনও উপায়ে তরলের আপাত প্রসারণ নির্ণয় করিয়া তাহার সহিত পাত্রের প্রসারণের গুণাঙ্ক যোগ করিলে তরলের প্রকৃত প্রসারণ পাওয়া যাইবে।

দ্বিতীয় প্রণালী : পারদের আয়তন প্রসারণ কাচের আয়তন প্রসারণের সাত গুণ। সুতরাং একটি কাচের পাত্রের ভিতরে ঠিক $\frac{1}{7}$ অংশ পারদ দ্বারা পূর্ণ করিলে কোনও উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য কাচের পাত্রের ভিতরের আয়তন প্রসারিত হইয়া যতটা শূন্যস্থানের সৃষ্টি করিবে পারদও প্রসারিত হইয়া ঠিক ততটা শূন্যস্থান পূরণ করিবে। তাহার ফলে পাত্রের ভিতরের অবশিষ্ট স্থানের আয়তন সমান থাকিবে। ৪১নং চিত্রের M চিহ্নিত কালো অংশ হইল পারদ। এইরূপ পাত্রের মধ্যে কোনও তরল লইয়া গরম জলের পাত্রে ডুবাইলে সরু নলের মধ্যে তরল যতটা প্রসারিত হইবে তাহাই তরলের প্রকৃত প্রসারণ। সুতরাং এইরূপ পাত্রে তরল লইয়া প্রথম পরীক্ষার মতো পরীক্ষাদ্বারা তরলের প্রকৃত প্রসারণ নির্ণয় করা যায়। এখানে পাত্রের প্রসারণ জানার প্রয়োজন হয় না। এই যন্ত্রটিকে **ধ্রুবক-আয়তন ডায়লেটোমিটার** (Constant Volume Dilatometer) বলে।

৪১নং চিত্র
ধ্রুবক আয়তন
ডায়লেটোমিটার

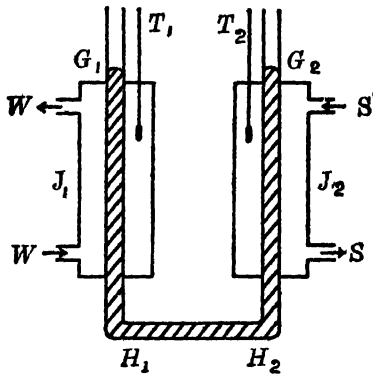
তরলের প্রকৃত প্রসারণ নির্ণয়

পরীক্ষাগারে তরলের প্রকৃত প্রসারণ ডুলঙ্ পেটিটের সরঞ্জামের সাহায্যে নির্ণয় করা হয়। চিত্রে সরঞ্জামের রেখা-চিত্র দেওয়া আছে। ইহাতে $G_1 H_1 H_2 G_2$ ঊর্ধ্বাধভাবে অবস্থিত কাঠের ফ্রেমে আটকান একটি কাচের নল। কাচের নলটির $G_1 H_1$ ও $G_2 H_2$ অংশ দুইটি ঊর্ধ্বাধভাবে অবস্থিত এবং $H_1 H_2$ অংশ অনুভূমিক। নলটির মধ্যে পরীক্ষণীয় তরল রাখা হয়। নলের $G_1 H_1$ ও $G_2 H_2$ অংশ পৃথক-ভাবে দুইটি কাচের জ্যাকেটদ্বারা পরিবেষ্টিত। একটি জ্যাকেট J_1-এর মধ্যদিয়া শূন্য ডিগ্রী উষ্ণতায় ঠাণ্ডাজল ও অপরটির (J_2) মধ্যদিয়া স্টীম পাঠাইয়া কাচের নলের দুই অংশের মধ্যস্থিত তরলকে বিভিন্ন উষ্ণতায় রাখা হয়। T_1 ও T_2 দুইটি সুবেদী (sensitive) থার্মোমিটার। ইহাদের সাহায্যে $G_1 H_1$ ও $G_2 H_2$ নলের মধ্যস্থিত তরলের উষ্ণতা নির্ণয় করা হয়। কাচের নলের অনুভূমিক অংশকে ($H_1 H_2$) একই উষ্ণতায় রাখার জন্য ইহার উপর ভিজা কাপড় জড়াইয়া দেওয়া হয়।

ঘরের উষ্ণতায় লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে $G_1 H_1$ ও $G_2 H_2$ উভয় নলের মধ্যে তরল একই লেভেলে আছে। কিন্তু $G_1 H_1$ অংশকে শূন্য ডিগ্রী উষ্ণতায় এবং $G_2 H_2$ অংশকে বাষ্পের উষ্ণতায় রাখিলে নলের মধ্যস্থিত তরলের লেভেলের তারতম্য ঘটে।

যদি $H_1 H_2$ অনুভূমিক তল হইতে $G_1 H_1$ নলমধ্যস্থ তরলের লেভেলের উচ্চতা h_0 হয় এবং $G_2 H_2$ নলমধ্যস্থ তরলের উচ্চতা h_t হয়, তাহা হইলে,

H_1 বিন্দুতে তরল ও বায়ুর যুক্ত চাপ

$= H_2$ বিন্দুতে তরল ও বায়ুর যুক্ত চাপ

৪২নং চিত্র :

বায়ুর চাপ B হইলে এবং $t°C$ ও $0°C$ উষ্ণতায় তরলের ঘনত্ব d_t ও d_o হইলে,

$B+h_t\ d_tg = B+h_od_og$ ($g=$ অভিকর্ষজ ত্বরণ)

$\therefore\ h_t\ d_t = h_o\ d_o$

অথবা, $\frac{h_t}{h_o} = \frac{d_o}{d_t} = 1+\gamma t$

($\gamma=$ তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক)

$\therefore\quad \gamma = \frac{h_t - h_o}{h_o \cdot t}.$

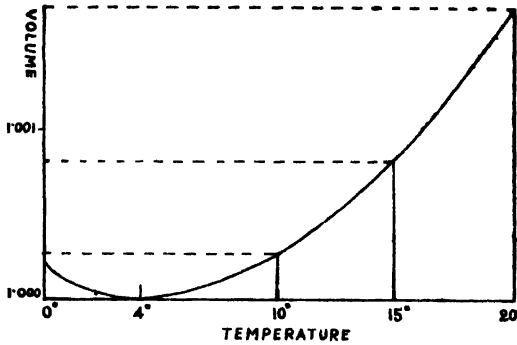
যেহেতু h_t, h_o ও tএর মান পরীক্ষা দ্বারা নির্ণয় করা যায় ; সুতরাং উপরের তরলের প্রকৃত প্রসারণ নির্ণীত হইবে।

জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ

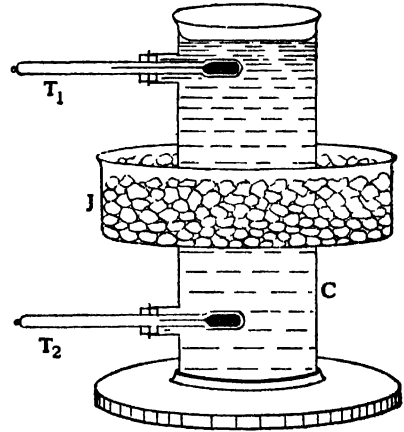
[Anomalous expansion of water]

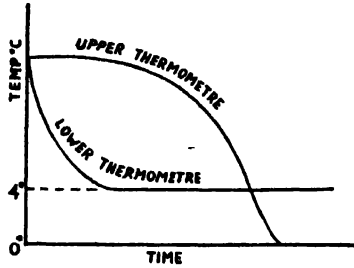
সাধারণত কোনও তরল পদার্থের উষ্ণতা ক্রমাগত বাড়াইলে উহার আয়তন বাড়িতে থাকে অথবা উষ্ণতা কমাইলে আয়তন কমিতে থাকে। কিন্তু জল একটি বিশেষ ধরনের তরল যাহার ক্ষেত্রে এই নিয়মের ব্যতিক্রম দেখা যায়। জলকে যদি ক্রমাগত শীতল করিয়া আনা হয়, তাহা হইলে দেখা যাইবে জলের আয়তন ক্রমশ সংকুচিত হইতেছে। কিন্তু 4° সে. পযন্ত একটানা সংকুচিত হইবার পর উষ্ণতা আরও কমাইলে জল প্রসারিত হয় এবং 0 সে. পর্যন্ত প্রসারিত হইতে থাকে। এইরূপ প্রসারণকে জলের **ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ** (anomalous expansion) বলে। নিম্নে বর্ণিত পরীক্ষা দুইটির দ্বারা ইহা প্রমাণ করা যায়।

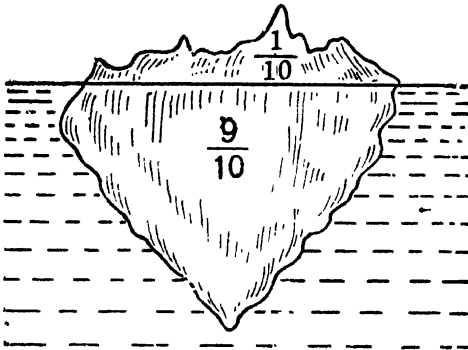
প্রথম পরীক্ষা : তরলের প্রকৃত প্রসারণ নির্ণয়ের উপযুক্ত একটি কাচের পাত্র লওয়া হইল। ইহার $\frac{1}{7}$ অংশ পারদপূর্ণ থাকিবে এবং ইহার মুখ একটি সরু লম্বা নল সংযুক্ত হইবে (পূর্বে বর্ণিত পরীক্ষার মতো)। পাত্রটি জলে পূর্ণ করা হইল যাহাতে নলের ভিতরেও কিছুদূর পযন্ত জল উঠে। সরু নলটির সহিত একটি স্কেল সংযুক্ত থাকিবে। প্রথমে বরফের গুঁড়ার মধ্যে জলপূর্ণ পাত্রটি কিছুক্ষণ ডুবাইয়া রাখ। নলের মধ্যে জল একটা নির্দিষ্ট উচ্চতায় আসিয়া স্থির হইবে। এখন পাত্রের জলের উষ্ণতা গলন্ত বরফের উষ্ণতায় বা 0° সেন্টিগ্রেডে পৌছিয়াছে বুঝিতে হইবে। এইবার পাত্রটি বরফের গুঁড়ার ভিতর হইতে তুলিয়া 0° সে. উষ্ণ একটি বড় জলের পাত্রে ডুবাইয়া রাখা হইল যাহাতে নলটি জলের উপরে থাকে। পাত্রের জলে একটি থার্মোমিটার ডুবাইয়া রাখা হইল এবং একটি মিশ্রকের সাহায্যে জলকে ধীরে ধীরে আলোড়িত করা হইল যাহাতে জলের

মধ্যে সর্বত্র উষ্ণতা সমান থাকে। জলের তাপমাত্রা উষ্ণ আবহাওয়ার সংস্পর্শে ক্রমশ বাড়িতে থাকিবে। প্রতি $\frac{1}{2}°$ সে. অন্তর নলের জলের অবস্থান লক্ষ্য

৪৩ নং চিত্র : জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের লৈখিক চিত্র (graple)

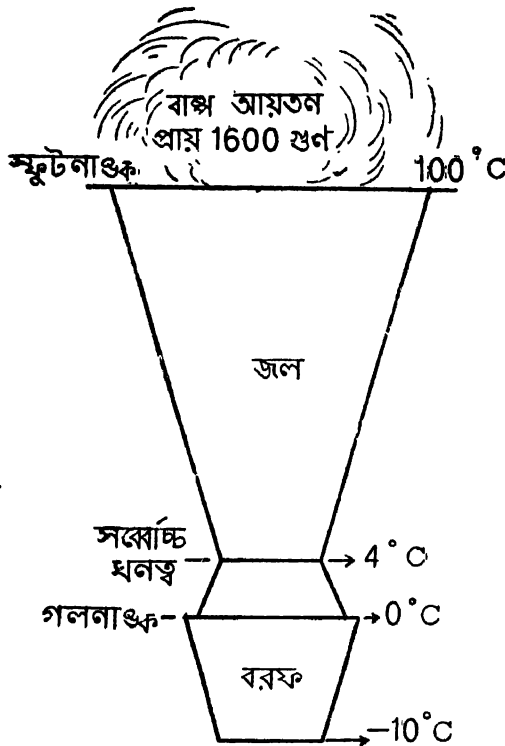
করা হইতে লগিল। এইরূপে 8° বা 10° সে. পর্যন্ত লক্ষ্য করা হইল। দেখা যাইবে, প্রথমে 0° সে. হইতে 4° সে. পর্যন্ত উষ্ণতা বাড়িলেও জল সংকুচিত হইতেছে, কিন্তু, 4° সে. উষ্ণতায় পৌঁছিবার পর জল আবার একটানা প্রসারিত হইতেছে।

দ্বিতীয় পরীক্ষা [হোপ-এর পরীক্ষা (Hope's Experiment)] : C একটি ধাতু নির্মিত চোঙ। ইহার উপরে ও নীচে দুইটি ছিদ্রপথে T_1 এবং T_2 দুইটি সেন্টিগ্রেড থার্মোমিটার প্রবেশ করান আছে। চোঙটিব মাঝামাঝি J একটি পাত্র। চোঙটি বিশুদ্ধ জলে পূর্ণ করিয়া J পাত্রে লবণ ও বরফের হিম-মিশ্রণ (Freezing mixture) লইতে হইবে। এখন থার্মোমিটার দুইটির পারদের অবস্থান লক্ষ্য করিয়া যাইতে হইবে। প্রথমে উপরের থার্মোমিটারটিতে কোনও পরিবর্তন লক্ষ্য করা যাইবে না। কেবল নীচের থার্মোমিটারের পারদ ক্রমশ নামিয়া আসিবে। নীচের থার্মোমিটারের পাঠ 4° সে. হইবার পর আর উহার পাঠ নামিবে না। কিন্তু এইবার উপরের থার্মোমিটারের পাঠ কমিতে আরম্ভ করিবে এবং উহা নামিয়া 4° সে.-এরও নীচে চলিয়া যাইবে। তারপর ক্রমশ ছোট ছোট বরফের সরের মতো টুকরা ভাসিয়া উঠিবে এবং উপরের থার্মোমিটারের পাঠ 0° সে. পর্যন্ত নামিবে। নীচের থার্মোমিটারে পাঠ কিন্তু এখনও 4° সে. উষ্ণতায় স্থির থাকিবে।

৪৪নং চিত্র : হোপের পরীক্ষা

ব্যাখ্যা : প্রথমে থার্মোমিটার তুইটি একই উষ্ণতা নির্দেশ করিতেছিল। কারণ জলের উষ্ণতা সর্বত্র সমান ছিল। তারপর J পাত্রের হিম-মিশ্রণের

৪৫ নং চিত্র : হোপের পরীক্ষার লৈখিক চিত্র (graph)

সংস্পর্শে জলের যে অংশ আছে তাহা ঠাণ্ডা হইল এবং সংকুচিত হওয়ার ফলে তাহার ঘনত্ব বৃদ্ধি পাইল। নীচের স্তরের জল অপেক্ষা ভারী হওয়ায় ঐ জল নীচে নামিয়া গেল এবং নীচের লঘু জল উপরে উঠিয়া উপরের স্থান গ্রহণ করিল। আবার উপরের J পাত্রের সংলগ্ন জল শীতল ও ঘন হইয়া নীচে নামিল এবং নীচের জল উহার স্থান গ্রহণ করিল। এইরূপে নীচের থার্মোমিটারের পাঠ ক্রমশ নামিতে লাগিল। কিন্তু উপরের থার্মোমিটারের কোনও পরিবর্তন হইল না। ক্রমশ J পাত্রের নিম্নভাগের সমস্ত জলের উষ্ণতা 4° সেন্টিগ্রেডে নামিল। তাহার পর J পাত্রের সংলগ্ন জলের উষ্ণতা 4° সেন্টিগ্রেডের নীচে নামিলেও উহার ঘনত্ব বাড়িল না, বরং কমিল। তারপর ক্রমশ ঐ জলের উষ্ণতা 0° সে. হইল এবং জল জমিয়া বরফের টুকরা হইতে লাগিল। বরফের ঘনত্ব জল অপেক্ষা কম, সেইজন্য বরফের টুকরাগুলি উপরে ভাসিয়া উঠিতে লাগিল এবং উহাদের সংস্পর্শে আসিয়া উপরের জলের উষ্ণতা 0° সে. পর্যন্ত নামিল।

৪৬নং চিত্র : জলে ভাসমান বরফ

জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের প্রয়োজনীয়তা : শীতপ্রধান দেশে নদী, সমুদ্র, হ্রদ প্রভৃতি জলাশয়ের জল উপরের শীতল বায়ুর সংস্পর্শে ক্রমশ শীতল হইতে থাকে। এই শীতল জল নীচে নামিয়া যায় এবং নীচের জল উপরে উঠে। এইরূপ প্রক্রিয়া চলিতে থাকায় ক্রমশ নীচের স্তরের জল 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় পৌঁছায়। তারপর যখন উপরের জল আরও শীতল হয় তখন তাহার ঘনত্ব কমিয়া যায়, সুতরাং

আর নীচে নামে না। নীচের স্তরের জল 4° সেন্টিগ্রেডে থাকিয়া যায়, কিন্তু উপরের স্তর 0° ডিগ্রীতে নামিয়া শেষ পর্যন্ত জমিয়া বরফ হইয়া যায়। এইরূপে একস্তর বরফের নীচে 4° সে. উষ্ণতায় জল থাকিয়া যায়। ইহার ফলে নীচে 4° সে. উষ্ণ জলে জলচর প্রাণী বিচরণ করিতে পারে। এইরূপ না হইয়া যদি উষ্ণতা হ্রাসের সহিত 0° সে. পর্যন্ত জলের ঘনত্ব একটানা বৃদ্ধি পাইত,

৪৭নং চিত্র : বরফ, জল ও বাষ্পের উষ্ণতা বৃদ্ধির সহিত আয়তন বৃদ্ধির পরিমাণ

তাহা হইলে ঐ সকল জলাশয়ের জল 0° সে. পর্যন্ত নামিয়া যাইত এবং ক্রমশ সমস্ত জল জমিয়া কঠিন হইয়াও যাইতে পারিত। তাহার ফলে জলচর প্রাণীদের বাঁচিয়া থাকা সম্ভব হইত না। অতএব জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ প্রকৃতির একটি মূল্যবান প্রয়োজন সাধন করিতেছে।

গ্যাসের প্রসারণ ও চার্লস্‌-এর সূত্র

[Expansion of gases and Charles' Law]

আমরা পূর্বে দেখিয়াছি গ্যাসের আয়তন উহার চাপের উপর নির্ভর করে। বয়েলের সূত্র হইতে গ্যাসের আয়তনের উপর চাপের ক্রিয়া সম্বন্ধে জানা যায়। আবার উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলেও গ্যাসের প্রসারণ হয়। সুতরাং চাপ ও উষ্ণতা

উভয়ের উপর কোনও গ্যাসের প্রসারণ নির্ভর করে। অতএব কেবল একটির প্রভাব লক্ষ্য করিতে হইলে অপরটিকে স্থির (constant) রাখিতে হইবে। **বয়েলের সূত্রে** আমরা দেখিয়াছি **নির্দিষ্ট উষ্ণতায়** নির্দিষ্ট ভরের কোনও গ্যাসের আয়তন উহার চাপের সহিত ব্যস্ত অনুপাতে পরিবর্তিত হয়। সুতরাং বয়েলের সূত্রে 'উষ্ণতা' স্থির এবং 'চাপ' পরিবর্তনশীল। কিন্তু আমরা যদি কেবল উষ্ণতার সহিত আয়তনের পরিবর্তন লক্ষ্য করিতে চাই তাহা হইলে চাপকে স্থির রাখিতে হইবে। তখন দেখা যাইবে, **নির্দিষ্ট চাপে অবস্থিত নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট কোনও গ্যাসের আয়তন প্রতি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য ঐ গ্যাসের শূন্য ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড আয়তনের $\frac{1}{273}$ অংশ হিসাবে বৃদ্ধি পায়।** ইহাকে চার্লস্-এর সূত্র বলা হয়। এই সূত্র অনুসারে :

P চাপে অবস্থিত কোনও গ্যাসের 0° সে. উষ্ণতায় আয়তন V_0 সি. সি. হইলে,

$1°$ সে. উষ্ণতায় আয়তন $\frac{V_0}{273}$ সি. সি. বৃদ্ধি পাইবে

$2°$ „ „ „ $2\frac{V_0}{273}$ সি. সি. „ „

$3°$ „ „ „ $3\frac{V_0}{273}$ সি. সি. „ „

$t°$ „ „ „ $\frac{V_0 t}{273}$ সি. সি. „ „

সুতরাং $t°$ সে. উষ্ণতায় ঐ গ্যাসের আয়তন V_t সি. সি. হইলে,

$$V_t = V_0 + \frac{V_0 t}{273} = V_0\left(1+\frac{t}{273}\right)$$

$$= V_0\left(\frac{273+t}{273}\right)$$

$$= \frac{V_0}{273}(273+t) \cdots\cdots\cdots (i)$$

এখন যদি তাপাঙ্কের একটি নূতন স্কেল কল্পনা করা যায় যাহার $273° = 0°$ সে., তাহা হইলে $t°$ সে. = নূতন স্কেলের $(273+t)°$. এই স্কেলকে চরম স্কেল (Absolute Scale) বলে এবং সাধারণত T দ্বারা ইহার উষ্ণতা প্রকাশ করা হয়। ইহাকে T°A বা T°K লেখা হয় এবং 'T Degree Absolute' বা T Degree Kelvin পড়া হয়। সুতরাং $t°$C ও T°K একই উষ্ণতা প্রকাশ করিলে,

$$T = 273 + t.$$

এখন সম্বন্ধ (i) হইতে পাওয়া যায় :

$$V_T = \frac{V_0}{273} \times T$$ [V_t এর বদলে V_T লেখা হইল।].

কিন্তু $\frac{V_0}{273}$ এর মান ধ্রুবক

সুতরাং $V_T \propto T$

বা, $V \propto T$,

ইহাও চার্লস্ সূত্র প্রকাশের একটি রীতি, অর্থাৎ :

চার্লস্ সূত্র : নির্দিষ্ট চাপে অবস্থিত নির্দিষ্ট ভরের কোনও গ্যাসের আয়তন ঐ গ্যাসের চরম তাপাঙ্কের সমানুপাতী।

এখন $V \propto T$; সুতরাং $V =$ ধ্রুবক $\times T$

বা $\frac{V}{T} =$ ধ্রুবক

অর্থাৎ নির্দিষ্ট ভরের কোনও গ্যাসের যদি $T_1{}^\circ K$ তাপাঙ্কে V_1c.c., $T_2{}^\circ K$ তাপাঙ্কে V_2c.c., $T_3{}^\circ K$ তাপাঙ্কে V_3c.c. ইত্যাদি আয়তন হয়, তাহা হইলে চার্লস্ সূত্র অনুসারে,

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = \text{ইত্যাদি।}$$

চার্লস্ ও বয়েলের সম্মিলিত সূত্র

[Combination of Charles' and Boyles' Laws]

নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন V, চাপ P এবং উষ্ণতা $T^\circ K$ দ্বারা সূচিত হইলে,

বয়েল সূত্র অনুসারে,

$$V \propto \frac{1}{P}, \text{ যখন } T \text{ ধ্রুবক}$$

এবং চার্লস সূত্র অনুসারে,

$$V \propto T, \; P \text{ যখন ধ্রুবক}$$

সুতরাং যুগ্ম ভেদের উপপাদ্য (Theorem of joint variation) অনুসারে,

$$V \propto \frac{1}{P} \times T, \text{ যখন } P\ T \text{ উভয়ই পরিবর্তনশীল}$$

অর্থাৎ $V = \frac{RT}{P}$, যখন R ধ্রুবক

বা $\frac{PV}{T} = R =$ ধ্রুবক।

সুতরাং নির্দিষ্ট ভরের কোনও গ্যাসের P_1 চাপও $T_1{}^\circ A$ উষ্ণতায় V_1, P_2 চাপ ও $T_2{}^\circ A$ উষ্ণতায় V_2 ইত্যাদি আয়তন হইলে,

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_3V_3}{T_3} = \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ইত্যাদি}$$

উদাহরণ 1 : বায়ুমণ্ডলের- চাপে অবস্থিত নির্দিষ্ট ভরের কোনও গ্যাস 20° সে. উষ্ণতায় 91 সি. সি. স্থান অধিকার করে। চাপ অপরিবর্তিত রাখিয়া উষ্ণতা 50° সে. করিলে ঐ গ্যাসের আয়তন কত হইবে ?

প্রশ্নানুসারে, $V_1 = 91$ সি. সি.
$T_1 = (273+20)^\circ K$
$= 293^\circ K$

$V_2 =$ নির্ণেয়
$T_2 = (273+50)^\circ K$
$= 323^\circ K$

কিন্তু চার্লস সূত্র অনুসারে,

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

সুতরাং, $\dfrac{91}{293} = \dfrac{V_2}{323}$

বা, $V_2 = \dfrac{91 \times 323}{293}$ সি. সি.

$= \mathbf{100{\cdot}3}$ সি.সি. (প্রায়)

উদাহরণ 2 : 27° সে. উষ্ণতায় ও পারদের 75 সে. মি. চাপে নির্দিষ্ট ভরের কোনও গ্যাসের আয়তন 200 সি. সি. হইলে, 50° সে. উষ্ণতায় ও পারদের 76 সে. মি. চাপে উহার আয়তন কত হইবে ?

প্রশ্নানুসারে, $P_1 = 75$ সে. মি.
$V_1 = 200$ সি. সি.
$T_1 = (273+27)$
বা $300^\circ K$

$P_2 = 76$ সে. মি.
$V_2 =$ নির্ণেয়
$T_2 = (273+50)$
বা, $323^\circ K$

এখন $\dfrac{P_2 V_2}{T_2} = \dfrac{P_1 V_1}{T_1}$

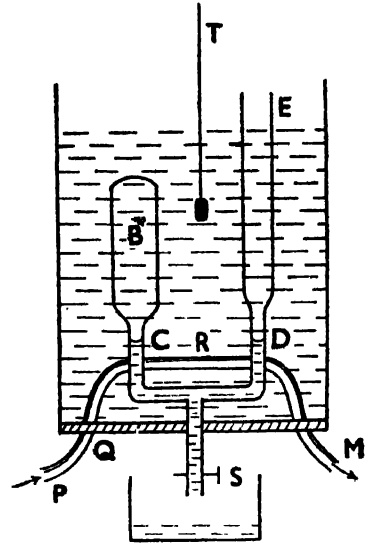
সুতরাং, $\dfrac{76 \times V_2}{323} = \dfrac{75 \times 200}{300} = 50$

বা, $V_2 = \dfrac{50 \times 323}{76} = \dfrac{425}{2} = \mathbf{212{\cdot}5}$ সি. সি.

চার্লস সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা :

BCDE একটি U-আকৃতি কাচের নল। B বাল্‌বটি আয়তনের স্কেল-চিহ্নিত। বালবে বায়ু এবং CD অংশে রঙীন সালফিউরিক এসিড আছে। সমগ্র যন্ত্রটি একটি কাচের জারের মধ্যে জলে ডুবানো আছে। B বালবের ভিতরের বায়ুকে সর্বদা বায়ুমণ্ডলের চাপে রাখিবার জন্য C ও D প্রান্তের এসিডের উপরিতল সর্বদা এক লেভেলে রাখা হয়। PQRS তামার নলের পথে বাষ্প চালাইয়া জারের জলকে যে কোনও উষ্ণতায় তোলা যায়।

প্রথমে জারের জলকে ঘরের উষ্ণতায় (মনে করা যাক, $T_1{}^\circ K$) রাখিয়া নলের E মুখ দিয়া তরল ঢালিয়া অথবা S স্টপকক দ্বারা এসিড

বাহির করিয়া C ও D নলের এসিডকে এক লেভেলে আনা হয়। এখন B বালবের বায়ুর আয়তনের পাঠ লওয়া হয়। মনে করা যাক্, ইহা V_1 হইল। এখন তামার নলের পথে কিছুক্ষণ বাষ্প চালাইয়া জলের উষ্ণতা 10° সে. আন্দাজ তোলা হইল। B বালবের বায়ু প্রসারিত হইল এবং C প্রান্তের এসিড নীচে নামিল। এখন S স্টপকক দ্বারা কিছু এসিড বাহির করিয়া আবার দুই দিকের এসিড এক লেভেলে আনা হইল এবং বালবে বায়ুর আয়তন মাপা হইল। মনে করা যাক, এখন বায়ুর উষ্ণতা ও আয়তন যথাক্রমে T_2°K ও V_2 হইল। এইভাবে বিভিন্ন উষ্ণতায় বায়ুব চাপ স্থির রাখিয়া আয়তন মাপা হইল। এখন যদি দেখা যায় $\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}=\frac{V_3}{T_3}$ =ইত্যাদি, তাহা হইলে চার্লস্ সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হইবে।

৪৮নং চিত্র : চার্লস্ সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা

স্থির আয়তনে উষ্ণতার সহিত গ্যাসের চাপবৃদ্ধির সূত্র :

আয়তন স্থির রাখিয়া উষ্ণতা বৃদ্ধি করিলে গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি পায়।

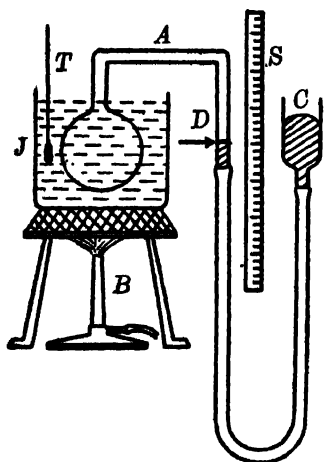
পরীক্ষা দ্বারা দেখা যায়, নির্দিষ্ট ভর ও নির্দিষ্ট আয়তন গ্যাসের 1° সে. উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য চাপবৃদ্ধির পরিমাণ ইহার শূন্য ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় চাপের $\frac{1}{273}$ অংশ।

নির্দিষ্ট ভর ও নির্দিষ্ট আয়তন কোনও গ্যাসের চাপ 0° সে. ও t° সে. উষ্ণতায় যথাক্রমে p_0 ও p_t হইলে পরীক্ষা দ্বারা পাওয়া যায়

$$\frac{p_t - p_0}{t} = \frac{1}{273} p_0$$

স্থির আয়তনে উষ্ণতার সহিত গ্যাসের চাপবৃদ্ধির সূত্রের পরীক্ষা :

এই পরীক্ষায় ব্যবহৃত সরঞ্জামকে জলির সরঞ্জাম (Jolly's apparatus) বা স্থির আয়তন গ্যাস থার্মোমিটার (constant volume gas thermometer) বলে। ইহাতে একটি বায়ুপূর্ণ বা অন্য গ্যাসপূর্ণ কাচের বালবের সহিত একটি নল সংলগ্ন আছে। নলটি বালবের উপর সামান্য একটু উঠিয়া তাহার পর অনুভূমিক অবস্থায় বাঁকিয়া পুনরায় নীচের দিকে নামিয়া গিয়াছে। এই নলের প্রান্তে একটি রবারের নল সংলগ্ন আছে। রবারের নলের অপর প্রান্ত একটি কাঁচের পাত্রের (C) নীচের দিকে সংযুক্ত। কাচের পাত্র (C), রবারের

নল ও বালবসংলগ্ন নলের সামান্য অংশ পারদে পূর্ণ। বালবসংলগ্ন নলটি যেখানে রবারের নলের সহিত সংযুক্ত হইয়াছে তাহার একটু উপরে একটি চিহ্ন দেওয়া আছে। পরীক্ষার সময় গ্যাসকে স্থির আয়তনে রাখিবার জন্য বালবসংলগ্ন নলের মধ্যস্থিত পারদকে এই চিহ্নে রাখা হয়। নলসহ বাল্‌বটি কাঠের ফ্রেমে আটকান থাকে এবং পারদ পাত্রটিও কাঠের ফ্রেমের সহিত সংযুক্ত কিন্তু ইহাকে উঠানো বা নামানো যায়। পারদপাত্র (C) ও বালব-সংলগ্ন নলের মাঝে উর্ধ্বাধভাবে কাঠের ফ্রেমের সংলগ্ন একটি স্কেল (S) আছে।

৪৯নং চিত্র

পরীক্ষার শুরুতে ও শেষে ব্যারোমিটারের পাঠ লওয়া হয়। ব্যারোমিটারের দুইটি পাঠের গড়কে পরীক্ষাকালীন বায়ুর চাপ ধরা হয়।

বায়ু (বা অন্য কোনও গ্যাস)পূর্ণ বালবটিকে প্রথমে বরফ দ্বারা আবৃত করা হয়। কিছুক্ষণ পর পারদ পাত্রটিকে নামাইয়া বালবসংলগ্ন নলের পারদের লেভেল নির্দিষ্ট চিহ্নে রাখা হয়। পারদপাত্রের পারদের লেভেল ও বালবসংলগ্ন নলে পারদের লেভেলের পার্থক্যের সহিত ব্যারোমিটারের পাঠ যোগ করিলে শূন্য ডিগ্রী উষ্ণতায় গ্যাসের চাপ পাওয়া যাইবে। ইহার পর কোনও ধাতব পাত্রে জল লইয়া বালবটিকে তাহার মধ্যে ডুবাইয়া রাখা হয়। পাত্রের জল গরম করিয়া বালবের গ্যাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি করা হয় এবং বালবমধ্যস্থ গ্যাসকে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় রাখা হয় এবং এই উষ্ণতার মান একটি সুবেদী থার্মোমিটারের সাহায্যে লওয়া হয়। এই অবস্থায় বালবসংলগ্ন নলের মধ্যস্থিত পারদকে নির্দিষ্ট চিহ্নে রাখিয়া পারদপাত্রের পারদের লেভেল হইতে নলমধ্যস্থ পারদের লেভেলের পার্থক্য ব্যারোমিটারের পাঠের সহিত যোগ করিলে নির্দিষ্ট উচ্চ উষ্ণতায় গ্যাসের চাপ পাওয়া যাইবে। এইরূপে বিভিন্ন উষ্ণতায় গ্যাসের চাপ লওয়া হইয়া থাকে। কোনও নির্দিষ্ট উচ্চ উষ্ণতার মান t° সে. হইলে এবং ঐ উষ্ণতায় গ্যাসের চাপ P_t হইলে ও শূন্য ডিগ্রী সে. উষ্ণতায় গ্যাসের চাপ P_0 হইলে দেখা যায়

$$\frac{P_t - P_0}{t} = \frac{1}{273} P_0$$

লব্ধ ফল নির্দিষ্ট ভর ও স্থির আয়তন গ্যাসের উষ্ণতার সহিত চাপবৃদ্ধির সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করিতেছে।

উষ্ণতার সহিত ঘনত্বের পরিবর্তন: নির্দিষ্ট ভরের কোনও তরলের পরিবর্তনের সহিত আয়তনের পরিবর্তন হয়। সুতরাং উহার ঘনত্বেরও পরিবর্তন হয়। মনে করা যাক্,

m গ্রাম ভরবিশিষ্ট কোন তরলের 0° সে. উষ্ণতায় আয়তন $= v_0$ সি. সি.। সুতরাং 0° সে. উষ্ণতায় উহার ঘনত্ব $= \frac{m}{v_0}$ গ্রাম/সি. সি $= \rho_0$ গ্রাম/ সি. সি.। যদি t° সে. উষ্ণতায় ঐ তরলের আয়তন v_t সি. সি. হয়, তাহা হইলে t° সে. উষ্ণতায় ঐ তরলের ঘনত্ব $= \frac{m}{v_t}$ গ্রাম/সি. সি. $= \rho_t$ গ্রাম/ সি. সি. (মনে করা যাক)

চার্লস্-এর সূত্র অনুসারে,

$$v_t = v_0(1+\alpha t), \quad \alpha = \frac{1}{273}$$

$$\therefore \quad \rho_t = \frac{m}{v_t} = \frac{m}{v_0(1+\alpha t)} = \frac{m}{v_0} \times \frac{1}{1+\alpha t} = \frac{\rho_0}{1+\alpha t}$$

$$\therefore \quad \rho_0 = \rho_t\,(1+\alpha t),$$

সারাংশ

তরলের আপাত প্রসারণ (Apparent expansion of a liquid): পাত্রের প্রসারণকে উপেক্ষা করিয়া তরলের প্রসারণ মাপিলে তরলের আপাত প্রসারণ পাওয়া যায়।

তরলের প্রকৃত প্রসারণ: (Real expansion of a liquid): পাত্রের প্রসারণ বিবেচনা করিয়া এবং তাহা মোট প্রসারণ হইতে বিয়োগ করিয়া যে প্রসারণ পাওয়া যায় তাহা তরলের প্রকৃত প্রসারণ।

γ কোনও তরলের প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক, γ_g ঐ তরলের আধার বা পাত্রের উপাদানের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক এবং γ' পাত্রে অবস্থিত তরলের আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক হইলে ইহাদের সম্বন্ধ: $\gamma = \gamma' + \gamma_g$.

কোনও তরলের প্রকৃত প্রসারণ নির্ণয়ের নানা প্রকার প্রণালী আছে। ডাইলেটোমিটার (Dilatometer) দ্বারা আপাত প্রসারণ নির্ণয় করিয়া $\gamma = \gamma' + \gamma_g$ সূত্রের প্রয়োগে γ নির্ণয় করা যায়। ধ্রুবক আয়তন ডাইলেটোমিটার (Constant Volume Dilatometer) দ্বারাও উহা নির্ণয় করা যায়।

জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ (Anomalous expansion of water): শূন্য ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড হইতে জলের উষ্ণতা ক্রমশ বাড়াইলে জল প্রথমে 4° সে. পর্যন্ত সংকুচিত হইতে থাকে, তারপর 4° ডিগ্রীর পর আবার একটানা প্রসারিত হইতে থাকে। অতএব 4° সে. তাপাঙ্কে জলের আয়তন সর্বাপেক্ষা কম; সুতরাং ঘনত্ব চরম বা সর্বোচ্চ হয়। জলের প্রসারণের ক্ষেত্রে সাধারণ নিয়মের এই ব্যতিক্রম হয় বলিয়া ইহাকে ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ বলে। ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের জন্যই শীতপ্রধান দেশের নদী ও সমুদ্রের উপরে কেবল একস্তর বরফ

পড়ে এবং তাহার নীচে 4° সে উষ্ণতায় জল থাকে। এই জন্য জলচর জীবেরা বাঁচিয়া থাকে।

গ্যাসের প্রসারণ, চার্লস্-এর সূত্র (Charles' Law) ঃ নির্দিষ্ট চাপে অবস্থিত নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট কোনও গ্যাসের আয়তন প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য ঐ গ্যাসের 0° সেন্টিগ্রেডের আয়তনের $\frac{১}{২৭৩}$ অংশ হিসাবে বৃদ্ধি পায়।

অনুশীলনী

1. *Explain with an experiment what you mean by real and apparent expansions of a liquid.*

2. *Define real and apparent expansions of liquid and obtain the relation between them.*

3. *Describe a method of determining apparent expansion of a liquid. How can you obtain the real expansion from this result?*

4. *Describe a Constant Volume Dilatometer and explain its principle. How can you determine real expansion of a liquid with it?*

5. *Explain with suitable experiments what you understand by the anomalous expansion of water.*

6. *Describe Hope's experiment and explain its results.*

7. *What purpose of nature is served by the anomalous expansion of water?*

8. *Water is at its maximum density at 4° C.—Illucidate this statement with suitable experiments.*

9. *On what factors does the expansion of a gas depend? State Charles' Law.*

10. *What do you mean by absolute scale of temperature? State Charles' Law in terms of absolute temperature.*

11. *Describe an experiment to verify Charles' Law.*

12. *A given mass of gas occupies 325 c.c. at 30°C and 76 c.m. of mercury pressure. What will be the volume of the gas at 60°C, pressure remaining constant?*

[*Ans.* 357·2 সি. সি.]

অষ্টম অধ্যায়

তাপ-সঞ্চালন

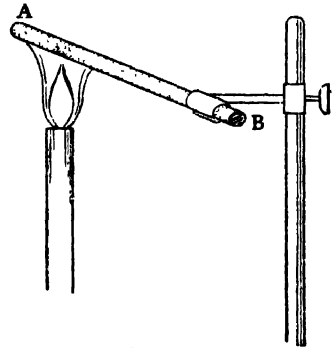
[Transmission of Heat]

তাপের এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে স্থানান্তরের নাম তাপ-সঞ্চালন। তাপ-সঞ্চালনের অসংখ্য উদাহরণ দেওয়া যাইতে পারে। যেমন, একটি লোহার সিকের একপ্রান্ত আগুনে রাখিলে অপর প্রান্ত গরম হইয়া যায়; আগুনের উপর পাত্রে জল রাখিলে জল গরম হয়; সূর্য হইতে তাপ পৃথিবীতে আসে।

মাধ্যম ঃ তাপ, আলোক, শব্দ প্রভৃতি শক্তি এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে স্থানান্তরের সময় উভয় বস্তুর মধ্যবর্তী স্থানকে ঐ শক্তি সঞ্চালনের মাধ্যম (Medium) বলে। তাপ-সঞ্চালনের ক্ষেত্রে মাধ্যম **বাস্তব** (material) বা **শূন্যতাময়** (vacuum) হইতে পারে। যখন কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় কোনও পদার্থ মাধ্যমের স্থান গ্রহণ করে তখন উহাকে **বাস্তব মাধ্যম** বলা হয়। যেমন, লোহার সিকের ভিতর দিয়া তাপ সঞ্চালন। কিন্তু যদি উত্তপ্ত বস্তু ও শীতল বস্তুর মধ্যে শূন্যতা থাকে অর্থাৎ কোনও পদার্থ না থাকে তাহা হইলে ঐ মাধ্যমকে **শূন্যতাময় মাধ্যম** বলা হইবে। ইহার উদাহরণ পরে দেওয়া হইবে।

তাপ-সঞ্চালন এই তিনটি বিভিন্ন প্রক্রিয়ায় হইয়া থাকে: (1) **পরিবহণ,** (2) **পরিচলন** (3) **বিকিরণ**।

পরিবহণ

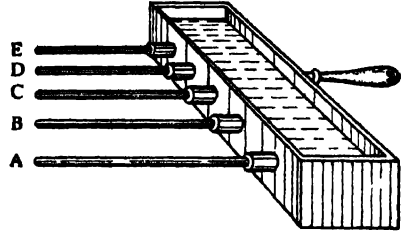
একটি লোহার সিকের এক প্রান্ত A আগুনে ধরা হইল। দুই তিন মিনিট পরেই অপর প্রান্ত B এমন গরম হইয়া উঠিবে যে আর হাত দিয়া ধরা যাইবে না। এখানে সহজেই বুঝিতে পারা যায় যে, লোহার সিকের ভিতর দিয়া পরিবহণ ক্রিয়ায় তাপ এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্তে যাইতেছে।

৫০নং চিত্র : ধাতুদণ্ডের তাপ পরিবহণ

পরিবহণের বৈশিষ্ট্য ঃ পরিবহণ প্রণালীতে বস্তুর যে অংশে তাপ প্রয়োগ করা হয় ঐ অংশের সংলগ্ন বস্তুকণা (বা অণু, molecules)গুলি ঐ তাপ পার্শ্ববর্তী স্তরের অণুগুলিতে সঞ্চালিত করে। আবার সেই অণুগুলি উহাদের পার্শ্ববর্তী স্তরের অণুগুলি উত্তপ্ত করে। এইরূপে ক্রমশ তাপ বস্তুটির দূরবর্তী প্রান্তে গিয়া পৌছায়।

পরিবহণ প্রধানত কঠিন বস্তুর বৈশিষ্ট্য। তরল ও বায়বীয় পদার্থের মধ্যে পরিবহণ ক্রিয়া অতি সামান্য হয়। আবার সকল কঠিন পদার্থই সমান পরিমাণে তাপ পরিবহণ করে না। পদার্থ অনুসারে পরিবাহিতার তারতম্য হইয়া থাকে। এই সম্বন্ধে একটি পরীক্ষা বর্ণনা করা হইতেছে।

ইন্‌জেনহাউসের পরীক্ষা

[Ingenhausz's Experiment]

একটি চতুষ্কোণ টিনের পাত্রে একটি হাতল এবং অপর দিকে এক সারিতে কতকগুলি ছিদ্রে কয়েকটি বিভিন্ন পদার্থের রড A, B, C, D এবং E সংলগ্ন আছে। প্রত্যেকটি রডের কতকাংশ পাত্রের ভিতরে ও কতকাংশ পাত্রের বাহিরে আছে। রডগুলি লোহা, তামা, রূপা প্রভৃতি বিভিন্ন ধাতু এবং কাঠ অঙ্গার প্রভৃতি পদার্থের দ্বারা তৈয়ারী। প্রত্যেকটি রডের উপর মোম গলাইয়া উহার সাহায্যে একটি করিয়া পাতলা আবরণ দেওয়া হইল। এখন পাত্রটির মধ্যে ফুটন্ত জল ঢালা হইল, যাহাতে রডগুলির পাত্রের ভিতরের অংশ গরম জলে ডুবিয়া থাকে। ইহাতে রডগুলির উপর পাত্রের দিক হইতে মোমের আবরণ গলিতে আরম্ভ করিবে। কিছুক্ষণ অপেক্ষা করিলে দেখা যাইবে, বিভিন্ন রডে বিভিন্ন দূরত্ব পর্যন্ত মোম গলিয়াছে।

৫১নংচিত্র : ইন্‌জেনহাউসের পরীক্ষা

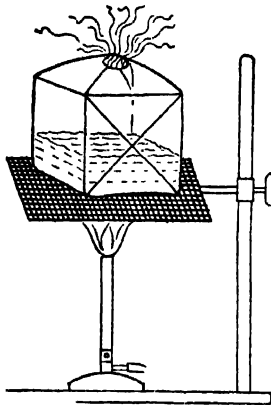
গরম জলের মধ্যে পাত্রগুলির যে অংশ ডুবিয়া আছে ঐ অংশের উষ্ণতা বেশী। সুতরাং ঐ অংশ হইতে রডের ভিতর দিয়া তাপ পরিবাহিত হইয়া অপর প্রান্তের দিকে যাইতেছে। মোমকে গলাইতে হইলে রডের উষ্ণতা অন্তত মোমের গলনাঙ্কে তুলিতে হইবে এবং তারপরও মোমের গলিবার জন্য লীন তাপ সরবরাহ করিতে হইবে। সুতরাং যে রডের তাপ পরিবহণের ক্ষমতা যত বেশী সেই রডের তত বেশী দূর পর্যন্ত মোম গলিবে।

এই পরীক্ষা হইতে দেখা যায়, **বিভিন্ন কঠিন পদার্থের তাপ পরিবহণের ক্ষমতা বিভিন্ন**। তাহা ছাড়া কোন্ পদার্থের তাপ পরিবহণের ক্ষমতা কিরূপ সে সম্বন্ধে একটি তুলনামূলক ধারণাও করা যাইতে পারে।

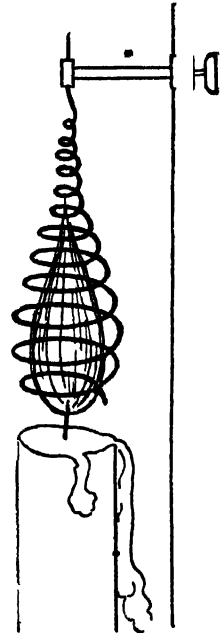
তাপ পরিবাহিতা

কোনও বস্তুর তাপ পরিবহণের ক্ষমতাকে উহার **তাপ পরিবাহিতা** বলা হয়। ধাতব বস্তুর তাপ পরিবাহিতা বেশী। কাঠ, এসবেস্টস্ প্রভৃতি বস্তুর পরিবাহিতা কম। ধাতব বস্তুর তাপ পরিবাহিতা একটি পরীক্ষা দ্বারা দেখান যাইতে পারে।

পরীক্ষা : মোটা তামার তারের একটি দীর্ঘাকার কুণ্ডলী (spiral) লইয়া একটি মোমবাতির শিখার মধ্যে হার নিম্নাংশ নামাইয়া দিয়া ধরিয়া রাখা হইল। কিছু ক্ষণের মধ্যেই মোমবাতি নিভিয়া যাইবে। তামার

পরিবাহিতা খুব বেশী। সেইজন্য তামার তারের ভিতর দিয়া শিখার তাপ পরিবাহিত হইয়া ছড়াইয়া পড়িতেছে। ইহাতে শিখার ভিতরের উষ্ণতা কমিয়া যাইতেছে। কিন্তু প্রত্যেক দাহ্য বস্তুর মতো মোমেরও একটি নির্দিষ্ট দহনাঙ্ক (Ignition temperature) আছে। ইহার নীচে শিখার উষ্ণতা নামিয়া গেলে মোম আর জ্বলিবে না। তামার তারের ভিতর দিয়া দ্রুত তাপ পরিবাহিত হইয়া চলিয়া যাওয়ার ফলে শিখার উষ্ণতা মোমের দহনাঙ্কের নীচে নামিয়া যাইতেছে। সেই জন্য বাতি নিভিয়া গেল।

৫২নং চিত্র : পরিবহণ দ্বারা বাতি নিভান

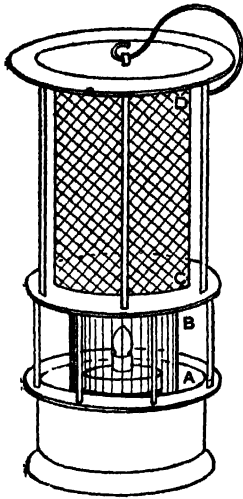
কাগজের পাত্রে জল ফুটান : একটি পাতলা কাগজের 'দোয়াত' তৈয়ারি করিয়া উহার মধ্যে জল ঢালা হইল। এখন জলপূর্ণ দোয়াতটি আগুনের উপর রাখিয়া দিলে কিছুক্ষণ পরে জল ফুটিতে আরম্ভ করিবে কিন্তু কাগজে আগুন ধরিবে না।

৫৩নং চিত্র : কাগজের পাত্রে জল ফুটান

প্রত্যেক দাহ্য বস্তুর মতো কাগজেরও দহনাঙ্ক (Ignition temperature) আছে। ঐ দহনাঙ্কে না উঠিলে কাগজ জ্বলিবে না। এখানে কাগজের নীচে যে তাপ প্রয়োগ করা হইতেছে তাহা কাগজের ভিতর দিয়া পরিবাহিত হইয়া দ্রুত জলে প্রবেশ করিতেছে। তাহার জন্য কাগজ কখনই দহনাঙ্কে উঠিতেছে না। যতক্ষণ পর্যন্ত দোয়াতে জল থাকিবে ততক্ষণ দহনাঙ্কে উঠিবে না।

ডেভি-র নিরাপত্তা বাতি

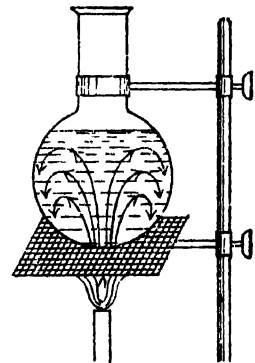
[Davy's Safety Lamp]

খনির মধ্যে ব্যবহারের জন্য স্যার উইলিয়ম হাম্‌ফ্রি ডেভি এই বাতিটি উদ্ভাবন করেন। ইহা একটি সাধারণ দেওয়াল-বাতির মতো। ইহার আগুনের শিখাটির চারিপাশে কতকাংশ কাচের চিমনি দ্বারা ঢাকা কিন্তু চিমনিটির উপরের দিকের অধিকাংশ এক বা দুই স্তর তামা অথবা লোহার তারের জাল দ্বারা

তৈয়ারী। খনির মধ্যে মাঝে মাঝে মার্শ গ্যাস (Marsh gas) জমা হয়। এই গ্যাস অত্যন্ত দাহ্য বস্তু এবং ইহা খনির মধ্যে বেশী পরিমাণে জমা হইলে সামান্য কারণে বিস্ফোরণ ঘটিতে পারে। সাধারণ বাতির আগুনের শিখার সংস্পর্শে অথবা বাতির গরম বহিরাবরণের সংস্পর্শেও বিস্ফোরণ ঘটিতে পারে। খনিতে এই গ্যাস জমিলে ডেভির নিরাপত্তা বাতির তারের জালের ছিদ্রপথে ভিতরে ঐ গ্যাস প্রবেশ করিয়া শিখার সংস্পর্শে আসিলে নীলাভ শিখায় জ্বলিতে থাকে। কিন্তু তারের **জালের দ্বারা তাপ পরিবাহিত হইয়া ছড়াইয়া পড়ে** বলিয়া বাহিরের উষ্ণতা কখনও বেশী হয় না। সেইজন্য বাহিরে আগুন জ্বলিয়া বিস্ফোরণ ঘটায় না। বরং ভিতরে নীলাভ ছোট ছোট অগ্নিশিখা দেখিলে বুঝা যায় খনিতে মার্শ গ্যাস জমিতে আরম্ভ হইয়াছে। সুতরাং সময়মত সতর্কতা অবলম্বন করা যাইতে পারে। আজকাল বৈদ্যুতিক বাতির প্রচলন হওয়ায় এই বাতির ব্যবহার প্রায় উঠিয়া গিয়াছে।

৫৪নং চিত্র : ডেভি-র নিরাপত্তা বাতি

পরিচলন

[Convection]

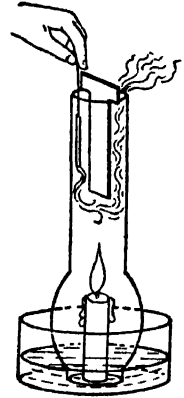
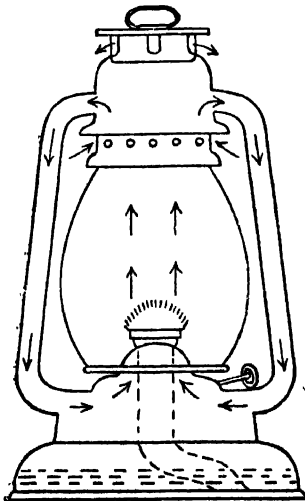
পরিচলন প্রক্রিয়াটি একটি পরীক্ষা দ্বারা বর্ণনা করা হইবে। একটি কাচের বড় ফ্লাস্ক জলদ্বারা প্রায় পূর্ণ করিয়া আগুনের উপর রাখা হইল। ফ্লাস্কের জলের নীচে কয়েক টুকরা ম্যাজেন্টা রং অথবা পটাস পারমাঙ্গানেট ফেলিয়া দেওয়া হইল। দেখা যাইবে ফ্লাস্কের তলদেশ হইতে স্রোতের আকারে রঙীন জল উপরে উঠিতেছে, আবার উপর হইতে পরে নীচে নামিতেছে এবং নীচ হইতে আবার উপরে উঠিতেছে। ঊর্ধ্বগামী এবং নিম্নগামী স্রোত দুইটি পৃথক পথ বাছিয়া লইয়াছে। নীচের জল ম্যাজেন্টা বা পারমাঙ্গানেটের জন্য রঙীন হওয়ায় স্বচ্ছ জলের মধ্যে রঙীন জলের স্রোত দেখিতে প্রথমে কোনও অসুবিধা হইবে না। পরে ক্রমশ সমস্ত জলে রং মিশিয়া গেলে আর স্রোত দেখা যাইবে না।

৫৫নং চিত্র : পরিচলন স্রোত

পাত্রের নীচে তাপ দেওয়ার ফলে নীচের জল গরম হইয়া হালকা হইয়া যাইতেছে এবং উপরে ভাসিয়া উঠিতেছে এবং উপরের শীতল জল অন্য পথে নামিয়া নীচের স্থান পূরণ করিতেছে। আবার, নীচের জল উষ্ণ এবং লঘুতর হইয়া উপরে উঠিতেছে এবং উপরের

অপেক্ষাকৃত ভারী জল নীচে নামিতেছে। এইভাবে যতক্ষণ সমস্ত পাত্রের জলের উষ্ণতা সমান না হয় ততক্ষণ এই স্রোত প্রবাহিত হইবে। ইহাকে **পরিচলন স্রোত** (Convection Current) বলে এবং এই প্রক্রিয়ায় তাপ-সঞ্চালন হওয়াকে **পরিচলন** বলে। অতএব পদার্থের বিভিন্ন অংশের স্থানান্তরের দ্বারা তাপ সঞ্চালিত হইলে ঐ প্রক্রিয়াকে তাপ পরিচলন বলা হয়।

তরল পদার্থের নিম্নাংশে তাপ প্রয়োগ করিলে পরিচলন স্রোতের দ্বারা ক্রমশ সমস্ত তরল স্ফুটনাঙ্কে উঠিয়া যাইবে এবং তারপর স্ফুটন আরম্ভ হইবে।

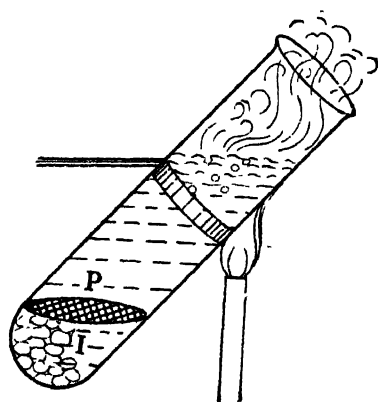
৫৬নং চিত্র : দেওয়াল-বাতির পরিচলন স্রোত

বায়বীয় পদার্থের ক্ষেত্রেও পরিচলনের উদাহরণ দেওয়া যাইতে পারে। একটি মোমবাতি জ্বালিয়া উহাকে একটি দেওয়াল-বাতির চিমনি দ্বারা ঢাকা হইল। চিমনির মুখে T-অক্ষরের আকারে কাটা একটি টিনের বা এসবেস্টসের পাতা ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। ইহাতে চিমনির গোলাকার ভিতরের অংশ দুইটি অংশে বিভক্ত হইল। এখন একটি জ্বলন্ত ধূপকাঠি বা কাগজ লইয়া চিমনির ঐ দুই মুখের একটির উপর ধরিলে দেখা যাইবে ধোঁয়া ভিতরে প্রবেশ করিতেছে এবং T-আকৃতি পাতের তলায় ঘুরিয়া অপর প্রান্ত দিয়া উপরে উঠিতেছে। ইহা বায়ুর পরিচলন স্রোতের কার্য। মোমবাতির শিখায় চিমনির ভিতরের বায়ু উত্তপ্ত হইয়া উপরে উঠিতে চায় এবং উপরের শীতল বায়ু নীচে নামিয়া তাহার স্থান পূরণ করিতে চায়। টিনের পাতের দ্বারা দুইটি বিভিন্ন পথ সৃষ্টি হওয়ায় ঊর্ধ্বগামী ও নিম্নগামী বায়ুস্রোত নির্দিষ্ট পথ বাছিয়া লয়। একপথে উষ্ণ বায়ু উপরে উঠে এবং অন্য পথে শীতল বায়ু নীচে নামে।

৫৭নং চিত্র : হারিকেনের পরিচলন স্রোত

এই প্রসঙ্গে জানিয়া রাখা যাইতে পারে, এই পরিচলন স্রোত সৃষ্টি হওয়ার জন্য মোমবাতিটি প্রজ্জলিত থাকে। পরিচলন স্রোত না থাকিলে ভিতরের বদ্ধ বায়ুর নির্দিষ্ট পরিমাণ অক্সিজেন দহনক্রিয়ার ফলে অল্পক্ষণের মধ্যে ফুরাইয়া যাইত এবং বাতিও নিভিয়া যাইত। যদি T-আকৃতি পাতটি উঠাইয়া লওয়া যায়, তাহা হইলে চিমনির সরু মুখে ঊর্ধ্বগামী ও নিম্নগামী স্রোতের মধ্যে সংঘর্ষ হওয়ায় পরিচলন স্রোত ঠিকভাবে চলিতে পারিবে না। সেইজন্য বাতি নিভিয়া যাইবে। এখানে প্রশ্ন হইতে পারে

দেওয়াল-বাতিতে তো এই রকম পাত দ্বারা চিমনিকে দুই অংশে ভাগ করা থাকে না। তাহা হইলে দেওয়াল-বাতি কি করিয়া প্রজ্বলিত থাকে? একটি দেওয়াল-বাতি বা হারিকেন লণ্ঠন লইয়া লক্ষ্য করিয়া দেখা যাইবে এই সকল বাতির নীচে অনেকগুলি ছোট ছোট ছিদ্র আছে। এই ছিদ্রপথে ভিতরে শীতল বায়ু প্রবেশ করে। দেওয়ালবাতির চিমনির খোলা মুখ দিয়া উষ্ণ বায়ু বাহির হয়। হারিকেন লণ্ঠনের উপরেও কতকগুলি বড় বড় ছিদ্র আছে। ঐ ছিদ্র দিয়া উষ্ণ বায়ু বাহির হয়। এইরূপে দেয়াল-বাতি ও হারিকেনের মধ্যে পরিচলন স্রোত প্রবাহিত থাকে এবং আগুনের শিখাকে সর্বক্ষণ জ্বালাইয়া রাখে।

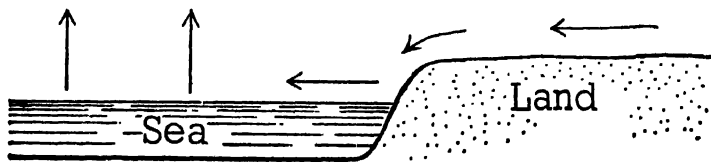
পূর্বেই বলা হইয়াছে, তরল ও বায়বীয় পদার্থের পরিবাহিতা অত্যন্ত কম। ইহাদের মধ্যে তাপ সঞ্চালন প্রধানত পরিচলন ক্রিয়া দ্বারাই সাধিত হয়। একটি পরীক্ষা দ্বারা তরল পদার্থের পরিবাহিতা যে কত কম তাহা দেখান যাইতে পারে।

পরীক্ষা ঃ একটি পরীক্ষা-নলে (Test-tube) প্রায় পরিপূর্ণ জল লওয়া হইল। কয়েক টুকরা বরফ একটি ছোট লোহার চাকতিকে চাপা দিয়া ঐ জলের মধ্যে ফেলিয়া দেওয়া হইল যাহাতে উহা জলের মধ্যে ডুবিয়া পরীক্ষা-নলের তলদেশে চলিয়া যায়। এখন পরীক্ষা-নলটি ঈষৎ কাত করিয়া ধরিয়া উপরের অংশে তাপ প্রয়োগ করা হইতে লাগিল। কিছুক্ষণের মধ্যেই উপরের স্তরের জল ফুটিতে আরম্ভ করিবে, কিন্তু নীচে নিমজ্জিত বরফের টুকরাগুলি বিশেষ গলিবে না। তারপর বাতিটি নীচে আনিয়া পরীক্ষা-নলের নিম্নভাগে তাপ প্রয়োগ করিলে বরফ দ্রুত গলিতে আরম্ভ করিবে।

৫৮নং চিত্র ঃ তরলের নিম্ন পরিবাহিতার পরীক্ষা

প্রথমে যখন উপরে তাপ দেওয়া হইতেছিল তখন উপরিভাগের জল পরিচলন স্রোতের দ্বারা গরম হইয়া ক্রমশ ফুটিতে আরম্ভ করিল। কিন্তু পরিচলন প্রক্রিয়ায় তরলের যেখানে তাপ প্রয়োগ করা হয় তাহার নীচের অংশের জল গরম হইতে পারে না, কেবল উপরের অংশের জলই গরম হয়। ইহাই পরিচলনের বৈশিষ্ট্য। যদি নীচের স্তরে কিছু তাপ সঞ্চালিত হয় তাহা কেবল পরিবহণ-ক্রিয়া দ্বারাই হইতে পারে। এখানে দেখা গেল উপরের জল স্ফুটনাঙ্কে উঠিলেও নীচের বরফ গলিতেছে না। অর্থাৎ পরিবহণ ক্রিয়া এখানে সামান্যই হইতেছে। অতএব এই পরীক্ষা হইতে প্রমাণিত হইল তরল পদার্থের পরিবাহিতা অত্যন্ত কম।

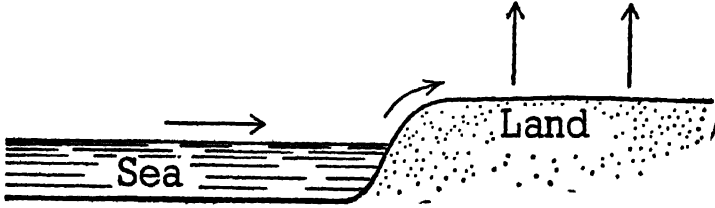
বায়ুর পরিচলন স্রোতের কয়েকটি উদাহরণ

ঘরে বায়ু সঞ্চালন (Ventilation) **:** যখন বাহিরের বাতাসে কোনও প্রবাহ থাকে না তখনও ধীরে ধীরে ঘরের মধ্যে বায়ুপ্রবাহ চলে। ঘরের মধ্যে কোনও বাতি জ্বালিলে সেই বাতির তাপে এবং ঘরের অবস্থানকারী মানুষের শ্বাস-প্রশ্বাসের দ্বারা ঘরের বায়ু উত্তপ্ত হইয়া উপরে উঠে এবং উপরে বাহিরে যাইবার পথ থাকিলে ঐ উষ্ণ বায়ু বাহির হইয়া যায়। উহার স্থান পূরণ করিবার জন্য ঘরের দরজা দিয়া অথবা মেঝের কাছে ছিদ্র থাকিলে ঐ ছিদ্রপথে বাহিরের শীতল বায়ু ঘরে প্রবেশ করে। এইরূপে ঘরে বায়ু সঞ্চালন (ventilation) হয়। বায়ু সঞ্চালনের সুবিধার জন্য অনেক ঘরে মেঝের কাছে এবং ছাদের (ceiling-এর) ঠিক নীচে দেওয়ালে অনেকগুলি ছিদ্র করিয়া উহাদের মুখ ঝাঁঝরি দ্বারা বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়। ইহাদের বায়ু সঞ্চালক (ventilator) বলা হয়। ঘরের দরজা-জানলা বন্ধ থাকিলেও এই ছিদ্রগুলি দ্বারা ঘরের বায়ু সঞ্চালনক্রিয়া চলিতে পারে। উপরের ছিদ্রগুলি দ্বারা বায়ু বাহিরে যায় এবং নীচের ছিদ্রগুলি দ্বারা বায়ু ভিতরে প্রবেশ করে। ঘরের দরজা-জানলা খোলা থাকিলেও উষ্ণ নিশ্বাস-বায়ু, বাতির সংলগ্ন উষ্ণ বায়ু, ধূম বা অন্য হালকা গ্যাস উপরের ছিদ্রগুলির দ্বারা খুব সহজে বাহির হইয়া যায়। এইজন্য প্রত্যেক ঘরেই বায়ু সঞ্চালক (ventilator) থাকা উচিত।

স্থলবায়ু ও সমুদ্রবায়ু: সন্ধ্যার পর স্থল ও জল উভয় অঞ্চলই তাপ ত্যাগ করিয়া শীতল হইতে থাকে। কিন্তু সাধারণ অভিজ্ঞতা হইতে আমরা জানি উষ্ণ কঠিন পদার্থ অপেক্ষা উষ্ণ জল ধীরে ধীরে শীতল হয়। অতএব

৫৯নং চিত্র: স্থলবায়ু

স্থলভাগ দ্রুত তাপ ছাড়িয়া শীতল হইয়া পড়ে, কিন্তু সমুদ্রের জল তত শীঘ্র শীতল হয় না। তাহার ফলে স্থলভাগের তুলনায় সমুদ্রের উপরের বায়ুতে নিম্নচাপ অঞ্চল এবং স্থলভাগে উচ্চচাপ অঞ্চলের সৃষ্টি হয়। এই কারণে স্থলভাগ হইতে সমুদ্রের দিকে বায়ু বহিতে থাকে। ইহাকে **স্থলবায়ু** (Land-Breeze) বলে।

সমুদ্র-তীরবর্তী স্থানে দুই প্রকার বায়ুপ্রবাহ দেখা যায়। দিবাভাগে সমুদ্র হইতে স্থলের দিকে বায়ু প্রবাহিত হয়। দিবসের সূর্যতাপে জল অপেক্ষা স্থলভাগের মাটি, পাথর প্রভৃতি সহজেই গরম হইয়া উঠে এবং স্থলভাগের

সংলগ্ন বায়ু পার্শ্ববর্তী জলভাগের বায়ু অপেক্ষা লঘু হয়। অতএব স্থলভাগের নিম্নচাপ এবং জলভাগের উচ্চচাপ অঞ্চলের সৃষ্টি হয়। সুতরাং উচ্চচাপ অঞ্চল

৬০নং চিত্র : সমুদ্রবায়ু

হইতে নিম্নচাপ অঞ্চলের দিকে অর্থাৎ সমুদ্র হইতে স্থলের দিকে একটানা বায়ু বহিতে থাকে। ইহাকে **সমুদ্রবায়ু** (Sea-Breeze) বলে।

বাণিজ্য বায়ু বা আয়ন বায়ু : নিরক্ষরেখার নিকটবর্তী অঞ্চলে সারা বৎসর সূর্যতাপ প্রখরভাবে পড়ে। তাহার ফলে নিরক্ষরৈখিক অঞ্চলে সর্বদাই নিম্নচাপ অঞ্চল বর্তমান। কিন্তু ক্রান্তীয় অঞ্চল সে তুলনায় শীতলতর হওয়ায় ক্রান্তীয় অঞ্চলের বায়ু নিরক্ষরেখার দিকে প্রবাহিত হয়। কর্কটক্রান্তি হইতে দক্ষিণে এবং মকরক্রান্তি হইতে উত্তরে বায়ু প্রবাহিত হয়। কিন্তু পৃথিবীর দৈনিক আবর্তনের জন্য এই বায়ুপ্রবাহের ফেরেল-এর সূত্র অনুসারে উত্তর গোলার্ধে ডান দিকে এবং দক্ষিণ গোলার্ধে বাম দিকে ঘুরিয়া যায়। এইরূপে উত্তর-পূর্ব ও দক্ষিণ-পূর্ব বাণিজ্য বায়ু বা আয়ন বায়ুর (Trade Winds) উৎপত্তি হয়।

প্রকৃতপক্ষে যে কোনও প্রকার বায়ুপ্রবাহ সৃষ্টির মূল কারণ হইল নিম্নচাপ ও উচ্চচাপ অঞ্চলের উৎপত্তি। কোনও স্থানের বায়ু কোনও কারণে গরম হইয়া হালকা হইলে উপরে উঠিয়া যায় এবং ঐ স্থানে নিম্নচাপ অঞ্চলের উৎপত্তি হয়। উহার পার্শ্ববর্তী স্থানসমূহের বায়ুর চাপ বেশী হওয়ায় ঐ সকল স্থান উচ্চচাপ-অঞ্চলরূপে কাজ করে। উচ্চচাপ অঞ্চল হইতে নিম্নচাপ অঞ্চলের দিকে বায়ু প্রবাহিত হয়। ইহাই বায়ুপ্রবাহের সাধারণ নিয়ম।

ঘূর্ণবাত : কোনও স্থানে খুব বেশী নিম্নচাপ কেন্দ্রের সৃষ্টি হইলে চারি দিকে বায়ু প্রবলবেগে ছুটিয়া আসিয়া ঐ শূন্যস্থান পূরণের চেষ্টা করে। চারি দিক হইতে আগত বায়ুপ্রবাহের মধ্যে প্রবল সংঘর্ষ হইয়া বায়ুতে একটি ঘূর্ণনের সৃষ্টি হয় এবং মাঝখানে নিম্নচাপবিশিষ্ট একটি স্তম্ভের চারিদিকে বাতাস ঘূর্ণির আকারে ঘুরিতে থাকে। এইরূপ বায়ুপ্রবাহকে ঘূর্ণবাত (cyclone) বলে এবং ঐ স্তম্ভকে ঘূর্ণবাত কেন্দ্র বলে। ঘূর্ণবাত কেন্দ্রটি স্থির থাকে না; প্রবলবেগে স্থানান্তরিত হইতে থাকে। এইরূপে ঘূর্ণবাত স্থান হইতে স্থানান্তরে যাইতে থাকে এবং ক্রমশ ইহার প্রবলতা কমিয়া বায়ুপ্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়। ঘূর্ণবাত অত্যন্ত প্রবল বায়ুপ্রবাহ, ইহার দ্বারা অনেক সময় ঘরবাড়ি ও গাছপালার প্রচুর ক্ষতি সাধিত হয়। সমুদ্রে ঘূর্ণবাতের সৃষ্টি হইয়া তাহা স্থলভাগের দিকে আসিলে তাহা প্রচুর জলীয় বাষ্প বহন করিয়া আনে এবং তাহা দ্বারা প্রবল বৃষ্টি হয়।

বিকিরণ
[Radiation]

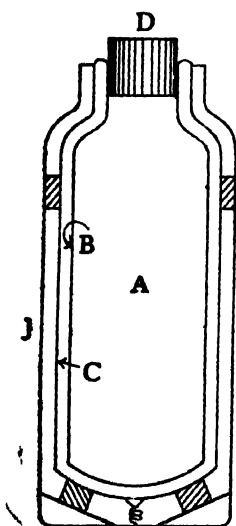
জলন্ত আগুনের পাশে একটু দূরে দাঁড়াইলে গায়ে আগুনের তাপ বা আঁচ লাগে। এই তাপ পরিবহণ বা পরিচলন প্রক্রিয়ার দ্বারা আসে না। কারণ, আগুন ও তাপ অনুভবকারী ব্যক্তির মধ্যে কেবল বায়ু রহিয়াছে। বায়ুর দ্বারা পরিবহণ অতি সামান্যই হয়, পরিচলনই বেশী হয়। কিন্তু পরিচলন ক্রিয়ার দ্বারা তাপের উৎস আগুন হইতে উপরের দিকে গরম বাতাস উঠে, পাশের দিকে যায় না। সুতরাং যে তাপ অনুভূত হওয়ার কথা বলা হইল তাহা তাপের উৎস হইতে পরিবহণ ও পরিচলন ভিন্ন অন্য এক প্রক্রিয়ায় সঞ্চালিত হয়। এই তৃতীয় প্রক্রিয়াকে বলে বিকিরণ। **বিকিরণের জন্য কোনও বাস্তব মাধ্যমের (material medium) প্রয়োজন হয় না,** শূন্য স্থানের ভিতর দিয়াও বিকরণ হইয়া থাকে। অনেক বিজলী বাতির ভিতরের বায়ু শোষণ করিয়া লওয়া হয়। ইহাদের বায়ুশূন্য বাতি বলে। এই বাতি জ্বালাইলে উহার জলন্ত ফিলামেণ্ট (filament) হইতে কাচের গায়ে তাপ আসে। কোনও জলন্ত বিজলী বাতিকে হাত দিয়া স্পর্শ করিলেই আমরা এই তাপ অনুভব করিতে পারি। ফিলামেণ্টের সহিত বাল্‌বের কাচের দেওয়ালের বিশেষ কোনও প্রত্যক্ষ যোগাযোগ নাই। ভিতরে বাতাসও প্রায় নাই। সুতরাং পরিবহণ ও পরিচলন ক্রিয়ায় যদিও বা কিছু সামান্য তাপ আসে তাহা দ্বারা বাতি জ্বালার সঙ্গে সঙ্গে ঐরূপ বেশী তাপ অনুভূত হইতে পারে না। এখানে বিকিরণ প্রক্রিয়াতেই তাপ সঞ্চালিত হয়।

সূর্য হইতে পৃথিবীতে তাপ আসাও বিকিরণ প্রক্রিয়ায় হয়। সূর্য ও পৃথিবীর মধ্যে কয়েক কোটি মাইল শূন্যস্থান রহিয়াছে। ইহার ভিতর দিয়া বিকিরণ প্রণালীতে সূর্যতাপ পৃথিবীতে আসিতেছে।

বিভিন্ন তলের বিকিরণের ক্ষমতা (Radiating power of different surfaces) : প্রত্যেক উষ্ণ বস্তু হইতেই তাপ বিকিরণ হয় এবং বস্তুর উষ্ণতা যত বেশী হয় বিকিরণও তত বেশী হয়। কিন্তু দুইটি সমান উষ্ণ বিভিন্ন বস্তুর বিকিরণ ক্ষমতা সমান হইবে এমন কোনও কথা নাই। উষ্ণ বস্তুর বাহিরের তলের প্রকৃতির উপর উহার বিকিরণের ক্ষমতা নির্ভর করে। সাধারণত দেখা যায় কৃষ্ণবর্ণ তলের (black surface) বিকিরণ ক্ষমতা শ্বেতবর্ণ তল (white surface) অথবা অন্য বর্ণের তল অপেক্ষা বেশী। আবার মসৃণ তলের (plane surface) বিকিরণ ক্ষমতা অপেক্ষা খসখসে তলের (rough surface) বিকিরণ ক্ষমতা বেশী। সেইজন্য একটি খসখসে মাটির পাত্র এবং একটি মসৃণ ধাতু বা চিনামাটির পাত্রে সমান উষ্ণ জল রাখিলে মসৃণ পাত্রের জলই বেশীক্ষণ গরম থাকিবে। কারণ মসৃণ পাত্রে বিকিরণের দ্বারা তাপ কম বাহির হইবে।

মোটরগাড়ির তাপ-সঞ্চালক (Motor Car Radiator) : মোটরগাড়ির ইঞ্জিন চলিবার সময়ে উহার সিলিণ্ডারগুলির ভিতর পেট্রোল বাষ্প

জলিবার জন্ম প্রচুর তাপ উৎপন্ন হয়। এই তাপ অপসারণ করিবার ব্যবস্থা না থাকিলে সিলিণ্ডারগুলি অতিরিক্ত গরম হইয়া ইঞ্জিন বন্ধ হইয়া যাইতে পারে। এইজন্ম ইঞ্জিনকে শীতল করিবার ব্যবস্থা থাকে। এই ব্যবস্থায় সিলিণ্ডারগুলি জলের জ্যাকেট সিলিণ্ডারে নিমজ্জিত রাখা হয় এবং জ্যাকেটগুলি উপরে ও নীচে একটি তাপ-সঞ্চালক বা রেডিয়েটার-এর সহিত সংযুক্ত থাকে। গরম জল উপরের নল দিয়া Radiator-এ প্রবেশ করে এবং বিকিরণ ও বাতাসের পরিচলন দ্বারা ঠাণ্ডা হয়। নীচের নল দ্বারা ঠাণ্ডা জল জ্যাকেটে প্রবেশ করে। এইরূপে জলে একটি পরিচলন স্রোত উৎপন্ন হইয়া সিলিণ্ডারগুলিকে বেশী গরম হইতে দেয় না।

থার্মোফ্লাস্ক (Thermoflask): থার্মোফ্লাস্ক আজকাল একটি নিত্য ব্যবহার্য গৃহস্থালীর দ্রব্য। ইহা এক প্রকারের তাপ নিরোধক বোতল। ইহার ভিতরে গরম দুধ, চা প্রভৃতি রাখিয়া দিলে অনেকক্ষণ গরম থাকে ; আবার বরফ, শরবত প্রভৃতি ঠাণ্ডা জিনিসও অনেকক্ষণ ঠাণ্ডা থাকে। বাহিরের সহিত ইহার ভিতরের বস্তুর তাপ আদান-প্রদানের প্রক্রিয়াকে যথাসম্ভব নিয়ন্ত্রণ করা হইয়াছে। বাহিরের ধাতুনির্মিত চোঙ J-এর ভিতরে একটি কাচের পাত্র A কর্কের সাহায্যে বসান আছে। A কাচের পাত্রটি দুইটি সমান্তরাল দেওয়াল দ্বারা গঠিত। দুইটি দেওয়ালের মধ্যবর্তী স্থানের বায়ু শোষণ করিয়া লওয়া হইয়াছে। ভিতরের দেওয়ালের বাহিরের তল B এবং বাহিরের দেওয়ালের ভিতরের তল C মসৃণ করা আছে। কাচের পাত্রটির মুখ D ছিপির দ্বারা বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়।

৬১নং চিত্র : থার্মোফ্লাস্ক

কাচের পাত্রের মধ্যে কোনও গরম বা ঠাণ্ডা জিনিস রাখা হয়। কাচের পাত্রের দেওয়ালের সহিত বাহিরের কঠিন বস্তুর সংযোগ অতি অল্প জায়গায় থাকায় পরিবহণ খুব সামান্যই হয়। দ্বিতীয়ত, দুইটি দেওয়ালের মধ্যবর্তী অংশে বায়ু প্রায় না থাকায় পরিচলন ক্রিয়াও হয় না। তৃতীয়ত, ভিতরের দেওয়ালের বাহিরের তল মসৃণ হওয়ায় বিকিরণ অতি সামান্য হয়। আবার যেটুকুও বিকিরণ হয়, বাহিরের দেওয়ালের ভিতরে মসৃণ তলে প্রতিফলিত হইয়া তাহাও ফিরিয়া পাত্রের মধ্যে প্রবেশ করে। সুতরাং এই পাত্রে পরিবহণ, পরিচলন এবং বিকিরণ—তাপ-সঞ্চালনের এই তিনটি প্রক্রিয়াই যথাসম্ভব নিয়ন্ত্রিত। তাহার ফলে পাত্রের ভিতর ও বাহিরে মধ্যে তাপ সঞ্চালন খুব সামান্য হয়। সেইজন্য ভিতরে চা প্রভৃতি গরম বস্তু রাখিলে তাহা অতি ধীরে ধীরে তাপ ত্যাগ করে বলিয়া অনেকক্ষণ গরম থাকে। আবার ভিতরে শরবত প্রভৃতি ঠাণ্ডা বস্তু রাখিলে বাহির হইতে অতি ধীরে ধীরে ভিতরে তাপ প্রবেশ করে বলিয়া ঠাণ্ডা বস্তু অনেকক্ষণ ঠাণ্ডা থাকে।

সারাংশ

পরিবহণ, পরিচলন ও বিকিরণ—তাপ সঞ্চালনের তিনটি প্রক্রিয়া। পরিবহণ ও পরিচলনের জন্য বাস্তব মাধ্যম আবশ্যক। বিকিরণ প্রক্রিয়া বাস্তব মাধ্যম ও শূন্যস্থান উভয়ের মধ্যেই হইতে পারে। মাধ্যম স্থানান্তরিত না হইয়া কোনও বস্তুর এক অংশ হইতে অন্য অংশে তাপ সঞ্চালনের নাম **পরিবহণ**। পরিবহণ কঠিন পদার্থের বৈশিষ্ট্য। তরল ও গ্যাসের পরিবাহিতা অত্যন্ত কম। ধাতুর সু-পরিবাহিতা ধর্মের প্রয়োগে **ডেভি-র নিরাপত্তা** বাতি নির্মিত হয়।

যে প্রক্রিয়ায় মাধ্যম স্থানান্তরিত হইয়া তাপ সঞ্চালিত করে তাহাকে **পরিচলন** বলে। পরিচলন তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের বৈশিষ্ট্য। আগুনের উপর জল গরম হওয়া, সমুদ্রবায়ু, স্থলবায়ু প্রভৃতি বায়ুপ্রবাহ পরিচলন প্রক্রিয়ার ফল।

বিকিরণ প্রক্রিয়ায় উষ্ণ বস্তু হইতে চারিদিকে তাপ সঞ্চালিত হয়। সূর্য হইতে পৃথিবীতে বিকিরণ প্রণালীতে তাপ আসে। কঠিন বস্তুর বিকিরণ ক্ষমতা উহার উষ্ণতা ও তলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

পরিবহণ, পরিচলন ও বিকিরণ প্রণালীকে যথাসম্ভব হ্রাস করিয়া থার্মোফ্লাস্ক নির্মিত হয়।

অনুশীলনী

1. *Mention the different processes of transmission of heat and briefly explain each process with an example.*

2. *Why is a candle flame extinguished when a spiral of copper wire is plunged into it? If water is boiled in a paper pot, why does not the paper burn?*

3. *Describe and explain the action of a Davy's Safety Lamp.*

4. *Explain how convection takes place in liquids and gases illustrating your answer with one experiment for each medium.*

5. *Explain briefly the following processes: (i) Ventilation in a room, (ii) Land breeze. and Sea breeze. (iii) Cyclone, (iv) Trade Winds, (v) Ventilation of air in a hurricane lantern and a wall lamp.*

6. *Explain the process of radiation with examples. Give two examples to show whether or not radiation needs a material medium. On what factors does the radiating power of a hot body depend? Which surface radiates more heat—a polished or a rough surface?*

7. *Describe a thermoflask and explain its action.*

নবম অধ্যায়

তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক ও তাপীয় ইঞ্জিন

[Mechanical Equivalent of Heat and Heat Engines]

দুইখানি হাত পরস্পর ঘষিলে হাত দুইখানি গরম হয়, ছুটাছুটি বা শারীরিক ব্যায়াম করিলে শরীরের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়, রেলগাড়ি চলিয়া যাইবার ঠিক পরে রেল লাইন গরম বোধ হয়। এই সমস্ত উদাহরণ হইতে অনুমান করা যায়, কাজ করিলে কাজ হইতে তাপের উৎপত্তি হয়। দুইখানি হাত বা রেল লাইন ও চাকার মধ্যে ঘর্ষণের জন্য যে তাপ উৎপন্ন হয় তাহাকে ঘর্ষণজনিত তাপ (Frictional heat) বলা হয়। ঘর্ষণের সময়ে ঘর্ষণজনিত বাধার (Frictional resistance-এর) বিরুদ্ধে কাজ করা হয়। এই কাজ হইতেই ঘর্ষণজনিত তাপের উৎপত্তি হয়। আবার বাষ্পীয় বা পেট্রোল ইঞ্জিনের উদাহরণ হইতে দেখা যায়, তাপকে কাজে রূপান্তরিত করাও সম্ভব। আমাদের গৃহীত খাদ্য হইতে শরীরে যে তাপ উৎপাদিত হয় তাহাই আমাদের কাজ করিবার শক্তি দান করে। সুতরাং তাপ ও কাজের মধ্যে পরস্পর পরিবর্তন প্রকৃতির একটি স্বাভাবিক প্রক্রিয়া।

কাজ করিবার সামর্থ্যকেই শক্তি (Energy) বলে। পূর্বে বলা হইয়াছে তাপ এক প্রকারের শক্তি। সুতরাং বস্তুর মধ্যে তাপের অবস্থিতি বস্তুকে কাজ করিবার সামর্থ্য দান করে।

কোনও বস্তুর যান্ত্রিক কাজ (Mechanical work) করাকে যান্ত্রিক শক্তির (Mechanical Energy-র) প্রকাশ বলা যাইতে পারে। কোনও গাড়ি চলা, ঘড়ির বা অন্য কোনও যন্ত্রের চাকা প্রভৃতির ঘূর্ণন, জীবজন্তুর চলাফেরা বা অঙ্গপ্রত্যঙ্গ চালনা প্রভৃতিকে যান্ত্রিক কাজ করার উদাহরণ বলা যায়। সুতরাং যান্ত্রিক কাজ বলিতে কোনও বস্তুর বা উহার অংশ বিশেষের গতি বুঝাইয়া থাকে। আবার তাপ হইতে যদি বস্তুর কাজ করিবার সামর্থ্য জন্মায় তাহা হইলে তাপ হইতে বস্তুর গতি উৎপন্ন হয় বলা যাইতে পারে।

রামফোর্ডের পরীক্ষা

[Count Rumford's Experiments]

গতি বা ঘর্ষণ হইতে তাপ উৎপাদন সম্বন্ধে কাউন্ট রামফোর্ড নামক জনৈক জার্মান ইঞ্জিনীয়ার কয়েকটি পরীক্ষা করেন। তিনি মিউনিকের একটি কামান নির্মাণের কারখানায় কাজ করিতেন। কামানের লোহার নীরেট চোঙগুলিতে গর্ত করার সময়ে তিনি লক্ষ্য করিলেন লোহা ও ছিদ্র করিবার

যন্ত্রের মধ্যে ঘর্ষণের ফলে প্রচুর তাপ উৎপাদিত হইতেছে। এই পরীক্ষা হইতে তিনি গতি-শক্তি বা কাজ ও তাপের মধ্যে একটি সম্বন্ধ আছে ইহা অনুমান করেন।

থার্মোডাইনামিক্স্-এর প্রথম নিয়ম (First Law of Thermo-dynamics): **যান্ত্রিক শক্তি বা কার্য হইতে তাপে রূপান্তর ঘটিলে যান্ত্রিক শক্তি অথবা কার্য এবং তাপের পরিমাণের অনুপাত সর্বদা নির্দিষ্ট থাকে।** ইহাকে থার্মোডাইনামিক্স্রে প্রথম সূত্র বলে। এইরূপ কোনও রূপান্তর প্রক্রিয়ার যদিকার্য ও তাপের পরিমাণ যথাক্রমে W এবং H দ্বারা সূচিত হয়, তাহা হইলে এই নিয়ম অনুসারে :

$$\frac{W}{H}=J,$$ যখন J একটি ধ্রুবক।

J-কে **তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক** (Mechanical Equivalent of Heat) বা **জুলের তুল্যাঙ্ক** (Joule's Equivalent) বলে। ইহার মান সি. জি. এস. এককে প্রায় **4·2 জুল প্রতি ক্যালরি** (Joule's per Calorie)। অর্থাৎ এক ক্যালরি তাপ সম্পূর্ণ কার্যে রূপান্তরিত হইলে 4·2 জুল কার্য উৎপন্ন হইবে। আবার 4·2 জুল কার্য সম্পূর্ণ তাপে রূপান্তরিত হইলে এক ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হইবে। 1 জুল=1 কোটি আর্গ (ergs) বা 10^7 আর্গ। সুতরাং বলা যায় $J=4{\cdot}2\times10^7$ আর্গ/ক্যালরি।

এফ. পি. এস. এককে J-এর মান প্রায় **778 ফুট পাউণ্ড/ব্রিটিশ তাপীয় একক।**

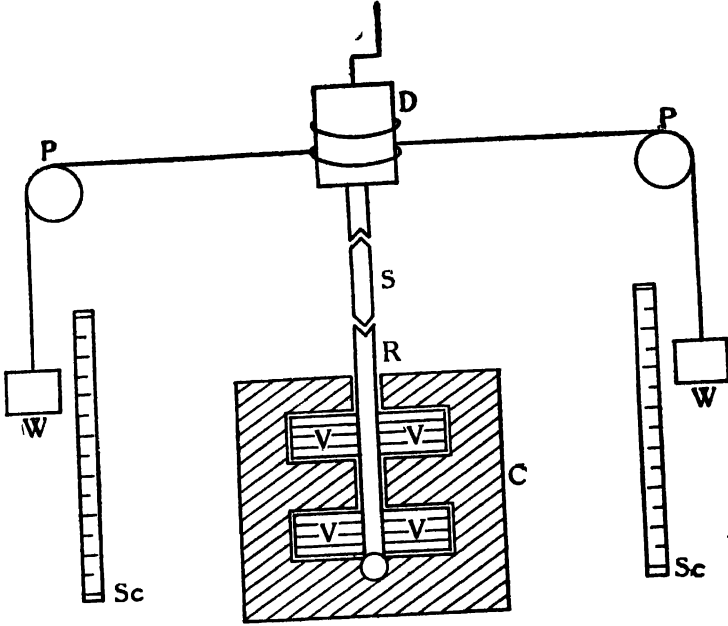
J-এর মান নির্ণয় : জুল-এর প্রণালী

[Determination of J : Joule's Method]

যন্ত্রের বর্ণনা : C একটি বিশেষ ধরনের জানা জলসমবিশিষ্ট বড় ক্যালরি-মিটার। R দণ্ডের সহিত সংলগ্ন V-চিহ্নিত পাখাগুলি (vanes) ক্যালরি-মিটারের মধ্যে ঘুরিতে পারে। S পিনটির দ্বারা D ড্রামের অক্ষকে R-এর সহিত সংযুক্ত বা R হইতে বিছিন্ন করা করা যায়। এক গাছি দড়িকে দুই ভাঁজ করিয়া ড্রামটির উপর জড়াইয়া উহার দুই প্রান্ত দুই দিকে দুইটি ঘর্ষণহীন কপিকল বা পুলি P-এর উপর দিয়া ঝুলাইয়া দেওয়া হইয়াছে। দড়ি দুইটির দুই প্রান্তে W, W দুইটি সমান ওজন ঝুলান আছে। (৬২নং চিত্র দ্রষ্টব্য)

প্রণালী : (1) ক্যালরিমিটারে জানা ওজনের জল লইয়া তাহার উষ্ণতা লওয়া হইল।

(2) S পিনকে সরাইয়া ড্রামকে R হইতে বিচ্ছিন্ন করা হইল এবং হাতল ঘুরাইয়া ওজন দুইটিকে নির্দিষ্ট উচ্চতায় তোলা হইল।

(3) ঃ পিনের সামাযো ড্রাম ও দণ্ডকে সংযুক্ত করিয়া হাতলটি ছাড়িয়া দেওয়া হইল। ওজন দুইটি Sc চিহ্নিত স্কেল দুইটির পাশ দিয়া নীচে নামিয়া আসিয়া দাঁড়াইল।

৬২নং চিত্র ঃ জুল-এর যন্ত্র

(4) উপরের (2) এবং (3) নং প্রক্রিয়ার বহুবার পুনরাবৃত্তি করা হইল যাহাতে জলের উষ্ণতা অন্তত 4° সে. বা 5° সে. বৃদ্ধি পায়।

(5) ঠিক নিম্নপ্রান্তে আসিবার পূর্বে W, W ওজন দুইটির বেগ নির্ণয় করা হইল।

(6) জলের আন্ত উষ্ণতার পাঠ লওয়া লইল।

গণনা ঃ মনে করা যাক্,

গৃহীত জলের ভর = M গ্রাম

ক্যালরিমিটারের জলসম = W গ্রাম

আদি ও আন্ত উষ্ণতা = যথাক্রমে θ_1°C. ও θ_2°C.

পতনশীল ওজনগুলির ভর = M গ্রাম (প্রত্যেকটি)

যতখানি উচ্চতা ধরিয়া পড়িল = h সে. মি.

যতবার পতন হইল = n

অভিকর্ষজ ত্বরণ = g সে. মি./সেকেণ্ড/সেকেণ্ড

নিম্নপ্রান্তে পৌঁছাইবার ঠিক পূর্বে

প্রত্যেক ওজনের বেগ = v সে. মি./সেকেণ্ড

স্নুতরাং মোট উৎপন্ন তাপ = H = (M + W) ($\theta_2 - \theta_1$) ক্যালরি
প্রত্যেকবার পতনের জন্য প্রতি ওজন দ্বারা কৃত কাজ
= মোট ব্যয়িত স্থিতিশক্তি = Mgh আর্গ (ergs)
কিন্তু পতনের ঠিক পূর্বে ওজনের মধ্যে অবশিষ্ট গতিশক্তি
$= \frac{1}{2}Mv^2$ আর্গ (ergs)
স্নুতরাং জলে আলোড়ন সৃষ্টির জন্য ওজন কর্তৃক কৃত কাজ
$= (Mgh - \frac{1}{2}Mv^2)$ আর্গ (ergs)
$\therefore$ দুইটি ওজন n বার পতনের জন্য মোট প্রয়োজনীয় কাজ
$= W = 2n (Mgh - \frac{1}{2}Mv^2)$
$= Mn (2gh - v^2)$ আর্গ (ergs)
এই W কাজের দ্বারাই তাপ উৎপন্ন হইয়াছে ;
স্নুতরাং $J = \frac{W}{H} = \frac{Mn (2gh - v^2)}{(M + W) (\theta_2 - \theta_1)}$ আর্গ/ক্যালরি।

এই সমীকরণের ডান দিকের সবগুলি রাশির মান নির্ণীত হইয়াছে অথবা জানা আছে। স্নুতরাং, J-এর মান নির্ণয় করা সম্ভব।

প্রণালীর ত্রুটি : (1) পুলি দুইটির ঘর্ষণের জন্য যে সামান্য তাপ উৎপন্ন হয় তাহা এই হিসাবের মধ্যে ধরা সম্ভব নয়। (2) পরীক্ষা চলিবার সময়ে যে তাপ উৎপন্ন হয় তাহার কিছু অংশ সঞ্চালিত হইয়া বাহিরে চলিয়া যায়। প্রধানত এই দুইটি কারণেই এই প্রণালীতে খুব সূক্ষ্মভাবে J-এর মান নির্ণয় করা সম্ভব নয়।

উদাহরণ 1 : 20 মিটার/সে. বেগে গমনশীল 21 কিলোগ্রাম ভরের একটি বস্তুকে থামাইতে যে কাজ করিতে হয় তাহা সম্পূর্ণ তাপে রূপান্তরিত হইলে কত ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হইবে ? [J = 4·2 জুল/ক্যালরি]

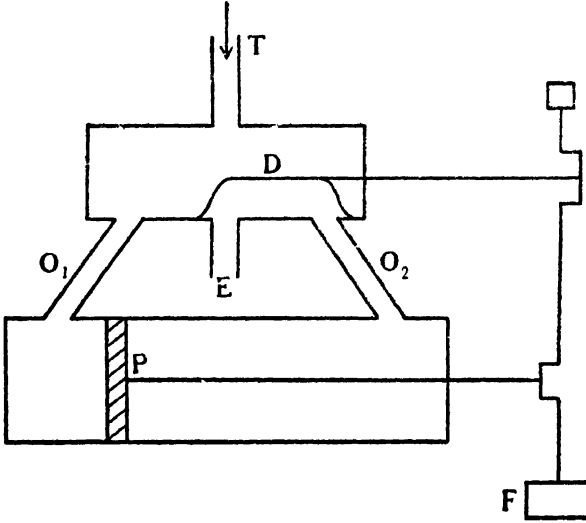
বস্তুর বিরুদ্ধে কৃত কার্য, W = বস্তুর গতিশক্তি
$= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 21000 \times (2000)^2$ আর্গ
$\therefore$ উৎপন্ন তাপ, $H = \frac{W}{J} = \frac{21000 \times 4 \times 10^6}{2 \times 4{\cdot}2 \times 10^7}$ ক্যালরি
$= \mathbf{1000}$ ক্যালরি

উদাহরণ 2 : 210 মিটার উচ্চতা হইতে 2 কিলোগ্রাম ওজনের একটি বস্তু নীচে পড়িবার পর সমস্ত শক্তি তাপে রূপান্তরিত হইলে কত ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হইবে ?

[J = 981 সে. মি/সে. ^{2} ; $J = 4{\cdot}2 \times 10^7$ আর্গ/ক্যালরি]
বস্তুর উপর কৃত কার্য = বস্তুর মোট স্থিতিশক্তি
অর্থাৎ $W = mgh$
স্নুতরাং উৎপন্ন তাপ, $H = \frac{W}{J} = \frac{mgh}{J}$
$= \frac{2000 \times 981 \times 21000}{4{\cdot}2 \times 10^7}$ ক্যালরি
$= \mathbf{981}$ ক্যালরি

তাপ-পরিচালিত ইঞ্জিন
[Heat Engines]

এই প্রকার ইঞ্জিনে তাপশক্তিকে যান্ত্রিকশক্তিতে রূপান্তরিত করিয়া ইঞ্জিন চালনা করা হয়। বাষ্পীয় ইঞ্জিন ও পেট্রোল ইঞ্জিন ইহার উদাহরণ।

বাষ্পীয় ইঞ্জিন
[Steam Engine]

৬৩নং চিত্র : বাষ্পীয় ইঞ্জিন

ইঞ্জিনের বিভিন্ন অংশ :

T : একটি নল, বাষ্পাধার (Boiler) হইতে বাষ্প প্রকোষ্ঠে (Steam Chest) বাষ্প এই নল দ্বারা প্রবেশ করে।

D : ডি-ভাল্‌ভ (D-valve)।

E : বাষ্পের নির্গমন পথ (Steam Exhaust)।

O_1, O_2 : বাষ্পের প্রবেশ-পথ (Steam inlets or ports)

P : পিস্টন (Piston)।

F : চক্র (Flywheel)

কার্যপ্রণালী (Action) : বাষ্পাধার হইতে সুসম্পৃক্ত উচ্চচাপযুক্ত বাষ্প বাষ্পপ্রকোষ্ঠে প্রবেশ করে। বাষ্প-প্রকোষ্ঠের সহিত সিলিণ্ডারের সংযোগকারী দুইটি পথ O_1 ও O_2 এর একটিমাত্র একসময়ে খোলা থাকে। ৬৩নং চিত্রে O_1 চিহ্নিত পথটি খোলা থাকায় বাষ্প ঐ পথে সিলিণ্ডারে প্রবেশ করিয়া পিস্টনকে চাপ দেয় এবং পিস্টনটি (চিত্রানুসারে) ডানদিকে সরিয়া যায়। F ফ্লাইহুইলের সহিত দুইটি রড D ভাল্‌ভ ও পিস্টনের সহিত এমনভাবে সংযুক্ত যে, নীচের রডটি ডানদিকে চলিলে উপরের রডটি বামদিকে চলে এবং D-ভাল্‌ভকেও ঠেলিয়া বামদিকে লইয়া

যায়। যখন পিস্টনটি সিলিণ্ডারের ডানদিকের প্রান্তের কাছে আসে তখন D-ভাল্‌ভ O_1 পথ বন্ধ করিয়া উহার সহিত নির্গমন পথ E-কে সংযুক্ত করে। এখন O_2 পথ খোলা থাকায় বাষ্প-প্রকোষ্ঠ হইতে সিলিণ্ডারের মধ্যে বাষ্প ঐ পথে প্রবেশ করে এবং পিস্টনকে চাপ দিয়া বামদিকে ঠেলিয়া দেয়। সিলিণ্ডারের বামদিকে সঞ্চিত ব্যবহৃত বাষ্প (O_1 পথ দিয়া পূর্বে যাহা সিলিণ্ডারে প্রবেশ করিয়াছে) নির্গমন পথে বাহির হইয়া যায়। পিস্টন বামদিকে যাইবার সময়ে D-ভাল্‌ভ ডানদিকে চলে এবং আবার O_2 পথকে বন্ধ করিয়া নির্গমন পথ E-এর সহিত সংযুক্ত করে। এইরূপে পিস্টন ও D-ভাল্‌ভের দুইদিকে যাতায়াতে চলিতে থাকে এবং F চক্রটি ঘুরিতে থাকে। এইভাবে ঘূর্ণায়মান চক্রের গতিকে যন্ত্র চালনার কাজে ব্যবহার করা যাইতে পারে।

৬৪নং চিত্র : রেলগাড়ির স্টীম ইঞ্জিন

ব্যবহার : রেল, স্টীমার, জাহাজ, স্টীমরোলার প্রভৃতি চালনা, খনি হইতে কয়লা প্রভৃতি উত্তোলন, ডাইনামো চালনা করিয়া বিদ্যুৎ উৎপাদন ইত্যাদি কাজে স্টীম ইঞ্জিন ব্যবহৃত হয়।

স্টীম ইঞ্জিনের সিলিণ্ডারের বাহিরে চুল্লীতে দহন-ক্রিয়া দ্বারা তাপ উৎপাদন করা হয়। এইজন্য স্টীম ইঞ্জিনকে বহির্দহ ইঞ্জিন (External Combustion Engine) বলে।

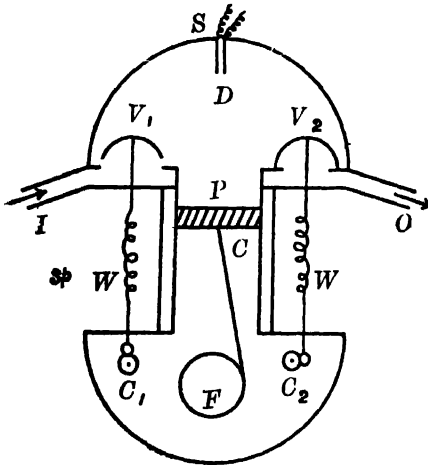
পেট্রোল ইঞ্জিন

[Petrol Engine]

এক বা একাধিক সিলিণ্ডার দ্বারা পেট্রোল ইঞ্জিন চলে। এইরূপ একটি সিলিণ্ডারের কার্যপ্রণালী এখানে বর্ণিত হইল। এখানে বর্ণিত প্রণালীকে চার স্ট্রোকবিশিষ্ট স্বয়ংক্রিয় চক্র (Four stroke auto cycle) বলে। স্ট্রোকগুলি পর্যায়ক্রমে বর্ণিত হইল।

(i) প্রথম বা চার্জিং (charging) স্ট্রোকে নির্দিষ্ট সময় অন্তর V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া যাওয়ায় I চিহ্নিত প্রবেশপথে পেট্রোল বাষ্প ও বায়ুমিশ্রিত দাহ্য গ্যাস

C সিলিণ্ডারে প্রবেশ করে। সিলিণ্ডারটি দাহ্য গ্যাসে পূর্ণ হওয়ার সময় পিস্টনটি নীচের দিকে নামে। সিলিণ্ডারটি গ্যাসে পূর্ণ হইলেই V_1 ভালভ বন্ধ হইয়া যায়। (ii) দ্বিতীয় বা কমপ্রেশন (compression) স্ট্রোকে পিস্টন নীচের F চক্রটির গতি-জড়তার (Inertia of motion) জন্য উপরে উঠিয়া ঐ দাহ্য গ্যাসকে প্রবল চাপ দেয় এবং গ্যাসের উষ্ণতাও বৃদ্ধি করে। এই স্ট্রোকের ঠিক শেষে ব্যাটারি ও ম্যাগ্‌নেটোর সহিত সংযুক্ত দুইটি তারের মাঝখানের সংকীর্ণ ফাঁকে (spark gap-এ) বিদ্যুতের স্ফুলিঙ্গ (spark) সৃষ্টি হইয়া গ্যাসের বিস্ফোরণ ঘটায়। (iii) তৃতীয় বা ওয়ার্কিং (working) স্ট্রোকে বিস্ফোরণের প্রবল চাপে P পিস্টনটি নীচে নিক্ষিপ্ত হয়। পিস্টন নীচে পৌঁছামাত্র V_2 ভালভটি খুলিয়া যায়। (iv) চতুর্থ বা এগ্‌জস্ট (exhaust) স্ট্রোকে F চক্রের গতি-জড়তার জন্য পিস্টন আবাব যখন উপরে উঠে তখন সমস্ত ব্যবহৃত পোড়া গ্যাস (burnt up gas) O চিহ্নিত নির্গমন পথে বাহির হইয়া যায়।

আবার V_1 খুলিয়া যাওয়ায় গ্যাস সিলিণ্ডারে প্রবেশ করে এবং উপরে বর্ণিত প্রত্যেক প্রক্রিয়া পর পর ঘটিয়া যায়।

৬৫নং চিত্র : পেট্রোল ইঞ্জিন

V_1 ও V_2-র খোলা এবং বন্ধ হওয়া C_1 ও C_2 চিহ্নিত ক্যামস (cams)-এর দ্বারা এবং ঠিক নির্দিষ্ট সময়ে S-এর স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি হওয়া অন্য একটি উপযুক্ত যান্ত্রিক ব্যবস্থা দ্বারা নিয়মিতভাবে ঘটিয়া যায়।

পেট্রোল ইঞ্জিনের সিলিণ্ডারের মধ্যে দহন ক্রিয়া ঘটান হয় বলিয়া ইহাকে অন্তর্দহ ইঞ্জিন (Internal Combustion Engine) বলা হয়।

ব্যবহার : মোটরগাড়ি প্রভৃতি পেট্রোল-ইঞ্জিন-চালিত যন্ত্রে এই প্রকারের অনেকগুলি সিলিণ্ডার একসঙ্গে চলিয়া যন্ত্রকে চালনা করে।

সারাংশ

· কার্য হইতে তাপে এবং তাপ হইতে কার্যে রূপান্তর একটি সাধারণ প্রাকৃতিক ঘটনা।

তাপ হইতে কার্য বা কার্য হইতে তাপে রূপান্তর প্রক্রিয়ার সময়ে তাপ ও কার্যের মধ্যে সর্বদা একটা নির্দিষ্ট অনুপাত বর্তমান থাকে। ইহাকে থার্মোডাইনামিকসের প্রথম নিয়ম (First Law of Thermodynamics) বলে। W দ্বারা কার্য এবং H দ্বারা তাপকে

সূচিত করিলে, $\frac{W}{H}=J$ একটি ধ্রুবক। ইহাকে তাপের যান্ত্রিক সমমান (Mechanical Equivalent of Heat) বলে। ইহার মান 4·2 জুল/ক্যালরি বা 778 ফুট-পাউণ্ড/ব্রিটিশ তাপীয় একক।

ডাঃ জুলের প্রণালীতে J-এর মান নির্ণয় করা যায়।

স্টীম ইঞ্জিন ও পেট্রোল ইঞ্জিনে তাপশক্তিকে কার্যে রূপান্তরিত করিয়া ইঞ্জিন চালনা করা হয়।

অনুশীলনী

1. *Give a few examples of inter-conversion between heat and work.*

2. *State the First Law of Thermodynamics and define the Mechanical Equivalent of Heat. What are the values of the Equivalent in the C. G. S. and the F. P. S. Units ?*

3. *What is meant by the statement, 'Mechanical Equivalent of Heat is 4·2 Joule's/Calorie' ? How many calories of heat will be generated from the work done in raising a body of mass 5 Kilogram vertically through 100 metres ?*

4. *How much heat will be produced by friction when a car weighing one ton and moving at a velocity of 20 ft./sec. is stopped by applying brakes ?*

5. *Describe a method for determining the Mechanical Equivalent of Heat. What are the defects of the method ?*

6. *Describe a Steam Engine with a suitable diagram and explain its action.*

7. *Explain in outline the action of a four stroke Petrol Engine.*

।। আলোক ।।

প্রথম অধ্যায়

আলোক
[Light]

আলোক কী : আমরা আলোকের দ্বারা সকল বস্তুকে দেখিতে পাই। আলোকের অভাবে আমরা চক্ষু থাকিতেও অন্ধের মতো হইব। অমাবস্যার রাত্রিতে যদি বাহিরে কোনও আলো না থাকে তাহা হইলে আমাদের দৃষ্টি চলে না। আবার দিনের বেলায়ও ঘরের দরজা-জানালা সমস্ত বন্ধ করিয়া দিলে এবং ঘরে আলো না জ্বালিলে ঘরের কোনও বস্তু আমরা দেখিতে পাই না। অতএব বলা যাইতে পারে **আলোক এক প্রকারের শক্তি যাহা আমাদের চক্ষুতে প্রবেশ করিলে দর্শনের অনুভূতি জন্মায়।**

আলোকের উৎস : যে বস্তু হইতে আলোক নির্গত হয় তাহাকে আলোকের উৎস (Source of Light) বা **সপ্রকাশ** (Luminous) উৎস বলে, যেমন—প্রদীপ, মশাল, বিজলীবাতী, সূর্য প্রভৃতি। আবার যে সকল বস্তু হইতে আলোক উৎপন্ন হয় না কিন্তু অন্য উৎস হইতে আলোক পাইয়া আলোকিত হয় তাহাদের **অপ্রকাশ** (Non-luminous) উৎস বলে, যেমন—দর্পণ, চন্দ্র, প্রভৃতি।

আমরা কি করিয়া দেখি : কোনও বস্তু হইতে আলোক আসিয়া আমাদের চক্ষুতে প্রবেশ করিলে আমরা ঐ বস্তুকে দেখিতে পাই। ঐ বস্তুটিই আলোকের উৎস হইতে পারে, অর্থাৎ উহা হইতেই আলোক উৎপন্ন হইতে পারে; অথবা অন্য আলোকের উৎস হইতে আলো পড়িয়া উহা আলোকিত হইতে পারে। যেমন—সূর্য বা কোনও বাতি হইতে যে আলোক বাহির হইয়া আমাদের চোখে প্রবেশ করে তাহা দ্বারা সূর্য বা ঐ বাতিকে দেখিতে পাই। কিন্তু অন্ধকার ঘরে বাতি জ্বালিলে ঘরের দেওয়াল ও আসবাবপত্রে ঐ বাতি হইতে আলোক পড়ে এবং সেই আলোক ফিরিয়া আসিয়া আমাদের চোখে প্রবেশ করিলে আমরা ঐ সকল বস্তুকে দেখিতে পাই।

আলোকের বেগ : পূর্বেই বলা হইয়াছে আলোক এক প্রকার শক্তি। ইহা আলোকের উৎস বা অন্য আলোকিত বস্তু হইতে প্রচণ্ড বেগে ধাবিত হয়। আলো জ্বালা মাত্রই সমস্ত ঘর আলোকিত হয়। আবার সার্চ লাইট জ্বালিলে উহার আলো সঙ্গে সঙ্গেই বহুদূরে গিয়া পড়ে। এজন্য আপাতদৃষ্টিতে আমাদের মনে হয় আলোকের বেগ বুঝি অসীম অর্থাৎ আলো জ্বালা মাত্রই উহা দূরতম স্থানে গিয়া উপস্থিত হয়। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে আলোকের বেগ অসীম নহে, উহা নির্দিষ্ট। ঐ বেগ খুব বেশী বলিয়া সাধারণত উহাকে অসীম বলিয়া বোধ হয়। আলোকের বেগ এত বেশী যে আমরা সহজে ইহার ধারণাই করিতে পারি না। **প্রতি সেকেণ্ডে 1,86,000 মাইল** বেগে আলোকশক্তি ধাবিত হয়।* চন্দ্র

---

* মাইকেলসন (Michelson) খুব সতর্কতার সহিত আলোকের যে বেগ নির্ণয় করিয়াছেন তাহার মান $2 \cdot 998 \times 10^{10}$ সে. মি./সেকেণ্ড। সাধারণ কাজের জন্য ইহাকে 3×10^{10} সে. মি./সেকেণ্ড ধরা হয়।

হইতে পৃথিবীর দূরত্ব 2,38,000 মাইল। এই পথ আসিতে আলোকের মাত্র 1·24 সেকেণ্ড সময় লাগে। সূর্য হইতে পৃথিবীর দূরত্ব প্রায় সাড়ে নয় কোটি মাইল। সূর্য হইতে পৃথিবীতে আলোক আসিতে প্রায় আট মিনিট সময় লাগে।

আলোকের মাধ্যম: আলোকের উৎস হইতে গন্তব্যস্থলের মধ্যে যে সকল বস্তু থাকে তাহাদের আলোকের মাধ্যম (mediun) বলে। কিন্তু আলোক সকল বস্তুর ভিতর দিয়া সমানভাবে চলাচল করে না। আলোক চলাচলের ক্ষমতার উপর মাধ্যমগুলিকে এইরূপ বিভিন্ন শ্রেণীতে ভাগ করা যাইতে পারে:

স্বচ্ছ: যে মাধ্যমের ভিতর দিয়া আলোক বিনা বাধায় চলাচল করিতে পারে তাহাকে স্বচ্ছ (Transparent) মাধ্যম বলে। যেমন—কাচ, জল বাতাস, অভ্র ইত্যাদি।

অস্বচ্ছ বা অনচ্ছ: যে মাধ্যমের মধ্যে আলোক একেবারেই চলাচল করিতে পারে না তাহাকে অস্বচ্ছ বা অনচ্ছ (Opaque) মাধ্যম বলা হয়। যেমন—কাঠ, ধাতু, পুরু কাগজ, দেওয়াল প্রভৃতি।

ঈষদচ্ছ: কতকগুলি মাধ্যম আছে যাহাদের মধ্য আলোক আংশিকভাবে চলাচল করিতে পারে। তাহাদের ঈষদচ্ছ (Transluscent) মাধ্যম বলে। যেমন ঘষা কাচ (Ground glass), তৈলাক্ত কাগজ প্রভৃতি। অনেক ঘরের জানালায় ঘষা কাচের শার্শি লাগান থাকে। উহাতে বাহির হইতে শার্শি দিয়া ঘরের মধ্যে আলোক প্রবেশ করে, কিন্তু ঘরের ভিতর ও বাহিরের মধ্যে দৃষ্টি চলে না। এক টুকরা শাদা কাগজে অল্প তেল মাখাইয়া লইলে উহার ভিতর দিয়া আংশিকভাবে দৃষ্টি চলে। এইরূপ তৈলাক্ত কাগজ ছাপান ছবি বা মানচিত্রের উপর রাখিয়া ঐ ছবি বা মানচিত্রের রেখানুসরণ (tracing) করিয়া ছবি আঁকা হয়।

সমসত্ত্ব মাধ্যম: কোনও মাধ্যমে আলোক চলাচলের ক্ষমতা ও ঘনত্ব প্রভৃতি অন্যান্য ধর্ম সর্বত্র সমান হইলে উহাকে সমসত্ত্ব মাধ্যম (Homogeneous medium) বলে।

অসমসত্ত্ব মাধ্যম: কোনও মাধ্যমে আলোক চলাচলের ক্ষমতা ও ঘনত্ব প্রভৃতি অন্যান্য ধর্ম সর্বত্র সমান না হইলে উহাকে অসমসত্ত্ব মাধ্যম (Heterogeneous medium) বলে।

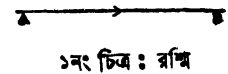
সর্বত্র সমান ঘনত্ববিশিষ্ট কোনও বায়ুস্তর বা জল অথবা অন্য তরল, সযত্নে প্রস্তুত কাচ প্রভৃতিকে সমসত্ত্ব মাধ্যম বলা যাইতে পারে। বিভিন্ন ঘনত্ববিশিষ্ট একাধিক বায়ুস্তর, অপটু হাতে প্রস্তুত কাচ প্রভৃতিকে অসমসত্ত্ব মাধ্যমের উদাহরণ মনে করা যাইতে পারে।

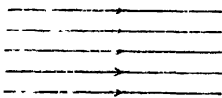
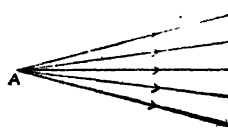
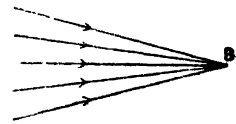
এখানে একটি বিষয় জানিয়া রাখা প্রয়োজন। সম্পূর্ণ অস্বচ্ছ বলিয়া কোনও মাধ্যম নাই। যে মাধ্যমকে আমরা সম্পূর্ণ অস্বচ্ছ মনে করি তাহারও খুব পাতলা পাত লইলে উহার ভিতর দিয়া কিছু আলো প্রবেশ করে। জানালার

শার্শিতে কাচের বদলে এক খণ্ড খুব পাতলা তামার পাত লাগাইলে বাহির হইতে কিছু আলো ঐ পাত ভেদ করিয়া প্রবেশ করিবে। আবার বিপরীত পক্ষে শূন্যস্থান ব্যতীত সম্পূর্ণ স্বচ্ছ বলিয়াও কোনও মাধ্যম নাই। কাচ, জল প্রভৃতিকেও সম্পূর্ণ স্বচ্ছ বলা যায় না, কারণ ইহাদের ভিতর দিয়া যাইবার সময় আলোকের কিছু অংশ মাধ্যম কর্তৃক শোষিত (absorbed) হয়। তাহা না হইলে গভীর জলের তলদেশেও জলের উপরিতলের মতো আলোক পাওয়া যাইত। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে গভীরতা যত বাড়ে জলের নীচে আলোকের তীব্রতাও তত হ্রাস পায়।

রশ্মি

কোনও মাধ্যমের মধ্যে একটি বিন্দু হইতে অন্য একটি বিন্দুতে যাইতে আলোক যে পথে চলে উহাকে আলোকের রশ্মি (Ray) বলে। রশ্মি একটি জ্যামিতিক রেখা, সুতরাং তাহার কোনও বিস্তার বা বেধ নাই কেবল দৈর্ঘ্য আছে।

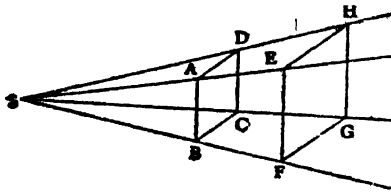
আলোকরশ্মিকে একটি তীরচিহ্নিত সরলরেখা দ্বারা সূচিত করা হয়। রশ্মি কোন্ দিকে যাইতেছে তীরের সম্মুখ তাহা নির্দেশ করে। ১নং চিত্রে AB আলোকরশ্মিটি A হইতে B-এর দিকে যাইতেছে।

১নং চিত্র : রশ্মি

কিরণ বা রশ্মিগুচ্ছ : আলোকরশ্মির একটি গুচ্ছকে কিরণ (Beam) বলে। আলোকের উৎস বা কোনও আলোকিত বস্তু হইতে এইরূপ গুচ্ছের আকারেই আলোক ছড়াইয়া পড়ে।

২ক নং চিত্র : সমান্তরাল কিরণ

২খ নং চিত্র : অপসারী কিরণ

২গ নং চিত্র : অভিসারী কিরণ

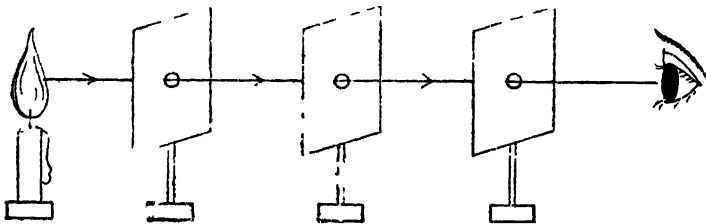
কোনও কিরণের রশ্মিগুলি পরস্পর সমান্তরাল হইলে তাহাকে **সমান্তরাল কিরণ** (Parallel beam) বলে। কিন্তু কোনও কিরণের রশ্মিগুলি একটি বিন্দু হইতে বাহির হইয়া ক্রমশ ছড়াইয়া পড়িলে তাহাকে **অপসারী কিরণ** (Divergent beam) বলে। আবার কোনও কিরণের রশ্মিগুলি একটি বিন্দুতে গিয়া মিলিত হইবার জন্য ক্রমশ সংকুচিত হইলে তাহাকে **অভিসারী কিরণ** (Convergent beam) বলে।

আলোকের সরলরেখায় গমন

কোনও সমসত্ত্ব মাধ্যমের ভিতর আলোকরশ্মি সর্বদা সরলরেখায় অগ্রসর হয়। প্রতিদিনের অভিজ্ঞতায় নানা ঘটনা হইতেই আমরা ইহা দেখিতে

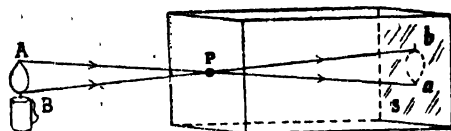
পাই। অন্ধকার রাত্রিতে টর্চের বা সার্চ লাইটের আলো ফেলিলে আলোক-রশ্মিকে সরলরেখায় যাইতে দেখা যায়। ঘরের দরজা-জানালা সমস্ত বন্ধ করিয়া দিলে জানালার বা দরজার সরু ছিদ্রপথে ঘরে আলো প্রবেশ করিলে আলোকের কিরণ (Beam) সরলরেখায় গমন করিতেছে বোধ হয়। (আলোক প্রকৃতপক্ষে অদৃশ্য কিন্তু বাতাসের ধূলিকণাকে আলোকিত করে বলিয়াই মনে হয় যেন আলোকের কিরণ বা রশ্মিগুচ্ছকে দেখা যাইতেছে)। আলোকের গতিপথে কোনও অস্বচ্ছ বস্তু রাখিলে আলোক বাধা প্রাপ্ত হয় এবং অস্বচ্ছ বস্তুর পশ্চাতে যে ছায়া পড়ে তাহাও আলোকের সরলরেখায় গমনের জন্য হয়। ৩নং চিত্রে S উৎস হইতে আলোকরশ্মিগুলি বাহির হইয়া ABCD বস্তুটির দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হওয়ায় EFGH ছায়াটি গঠিত হইয়াছে। ছায়াটির গঠনও ঠিক বস্তুটির মতো চতুষ্কোণ। SAE, SBF প্রভৃতি রশ্মিগুলির সরলরেখায় গমনের জন্যই এইরূপ হয়।

৩নং চিত্র : আলোকের সরলরেখায় গমন

আলোকের সরলরেখায় গমনের আরও উদাহরণ

কার্ডবোর্ডের সাহায্যে পরীক্ষা : তিনখানি কার্ডবোর্ড লইয়া উহাদের প্রত্যেকের মাঝখানে একটি করিয়া ছোট ছিদ্র করা হইল। কার্ডবোর্ডগুলিকে এক-একটি কাঠের টুকরার উপর ছোট পেরেকের সাহায্যে দাঁড় করাইয়া রাখা হইল। সবগুলি ছিদ্র যেন একই উচ্চতায় অবস্থিত হয়। এখন টেবিলের উপর একটি মোমবাতি জ্বালাইয়া কার্ডবোর্ডগুলিকে মোমবাতির সহিত সারিবদ্ধ ভাবে পর পর সাজানো হইল। এখন শেষের কার্ডবোর্ডটির ছিদ্রপথে মোমবাতির আলো দেখিবার চেষ্টা করিতে হইবে।

৪নং চিত্র : কার্ডবোর্ডের সাহায্যে পরীক্ষা

যখন সবগুলি ছিদ্র এক সরলরেখায় সাজান হইবে, কেবল তখনই মোমবাতির আলো এইরূপে দেখিতে পাওয়া যাইবে। একখানি কার্ডবোর্ডকে একটু সরাইলেই আর আলো দেখা যাইবে না। আলোক সরলরেখায় গমন করে বলিয়াই এইরূপ হয়।

পিনহোল ক্যামেরা
[Pinhole Camera]

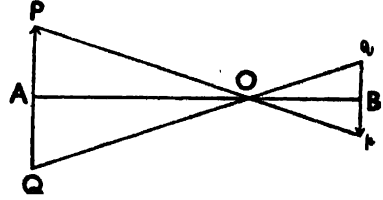
কার্ডবোর্ড বা কাঠের ছোট একটি বাক্স প্রস্তুত করিয়া উহার এক পার্শ্বের মাঝখানে একটি ছোট ছিদ্র করা হইল। একটি সূচ বা পিন ফুটাইলে যেরূপ ছোট ছিদ্র হয় ছিদ্রটি সেইরূপ করিতে হয়। এইজন্য ইহাকে পিনহোল বা সূচীছিদ্র ক্যামেরা বলা হয়। বাক্সটির ছিদ্রযুক্ত দেওয়ালের বিপরীত দিকের দেওয়াল ঘষা কাচ বা তৈলাক্ত কাগজ প্রভৃতি ঈষদচ্ছ (transluscent) পদার্থ দ্বারা তৈয়ারী হওয়া উচিত। ৫নং চিত্রে P পিনহোল এবং S ঈষদচ্ছ দেওয়াল। এখন অন্ধকার ঘরে বাক্সটি রাখিয়া উহার ছিদ্রযুক্ত দেওয়ালের সম্মুখে কিছু দূরে একটি মোমবাতি রখা হইল। বিপরীতদিকস্থ ঈষদচ্ছ দেওয়ালের উপর বাতির শিখার একটি অবশীর্ষ বা উলটা (inverted) প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। শিখাটির উপরের প্রান্তস্থিত A বিন্দু হইতে আলোকরশ্মি বাহির হইয়া ছিদ্রপথে বাক্সের মধ্যে প্রবেশ করিয়া ঈষদচ্ছ পর্দার নীচের দিকে a বিন্দুকে আলোকিত করিতেছে। আবার শিখার নিম্নপ্রান্তের B বিন্দু হইতে আলোকরশ্মি বাহির হইয়া ঈষদচ্ছ পর্দার উপরের দিকে b বিন্দুকে আলোকিত করিতেছে। এইরূপে শিখার উপরের অর্ধাংশ হইতে আলোক আসিয়া প্রতিবিম্বের নিম্নের অর্ধাংশে পড়িতেছে এবং নিম্নের অর্ধাংশ হইতে আলোক আসিয়া প্রতিবিম্বের উপরের অর্ধাংশ আলোকিত করিতেছে। তাহার ফলে প্রতিবিম্বটি উলটা (inverted) দেখা যাইতেছে। যদি আলোকরশ্মি বাঁকিয়া যাইতে পারিত তাহা হইলে নিম্নের আলোক উপরে এবং উপরের আলোক নিম্নে যাইত। তাহার ফলে সুনির্দিষ্ট উলটা প্রতিবিম্বের পরিবর্তে ঈষদচ্ছ পর্দাটিকে সর্বত্র সমভাবে আলোকিত দেখা যাইত।

৫নং চিত্র : পিনহোল ক্যামেরা

অতএব, পিনহোল ক্যামেরার সাহায্য আলোকের সরলরেখায় গমনের তথ্যটি প্রমাণিত হইল।

ছিদ্রটি ছোট লওয়া হয় কেন? বড় ছিদ্রকে কতকগুলি ছোট ছোট ছিদ্রের সমষ্টি মনে করা যায়। প্রত্যেকটি ছোট ছিদ্রের জন্য একটি করিয়া উলটা প্রতিবিম্ব গঠিত হইয়া পর্দার উপর প্রতিবিম্বগুলি একটির উপর আর একটি পতিত হয়। তাহার ফলে সুস্পষ্ট প্রতিবিম্ব গঠিত হয় না, কতকটা স্থান আলোকিত হয়।

উদাহরণ 1 : একটি পিনহোল ক্যামেরার বাক্সটির দৈর্ঘ্য 20 সে. মি. ;

30 মিটার দূরে অবস্থিত একটি গাছের উচ্চতা 15 মিটার হইলে ক্যামেরার ভিতর উহার প্রতিবিম্বের আয়তন কত হইবে?

চিত্রে PQ গাছের, pq বিম্বের এবং O বিন্দু পিনহোলের অবস্থান। AOB রেখা PQ ও pq রেখাদ্বয়ের উপর লম্ব। এখন জ্যামিতির সাহায্যে দেখানো যায়, $\frac{PQ}{pq}=\frac{AO}{BO}$

৬নং চিত্র

$$\frac{\text{বস্তুর উচ্চতা}}{\text{বিম্বের উচ্চতা}}=\frac{\text{বস্তুর দূরত্ব (পিনহোল হইতে)}}{\text{বিম্বের দূরত্ব}}$$

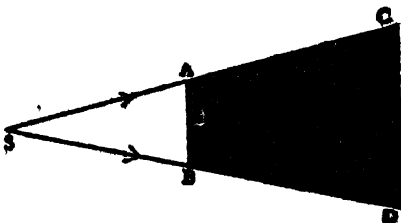
প্রশ্নানুসারে PQ = 15 মিটার | AO = 30 মিটার
pq = নির্ণেয় | BO = 20 সে. মি. = 0·2 মিটার

$$\therefore \frac{15}{pq}=\frac{30}{\cdot 2}$$

বা $pq=\frac{3}{30}=\cdot 1$ মিটার = 10 সে. মি.

গাছের ছায়ায় সূর্যের বিম্ব : খুব ঘন পাতাযুক্ত গাছের ছায়ায় যে ছোট ছোট আলোকিত স্থান দেখা যায় উহাদের অনেকগুলিকে বৃত্ত অথবা উপবৃত্তের আকারে দেখা যায়। গাছের পাতাগুলির মধ্যে ছোট ছোট ফাঁকগুলি এক্ষেত্রে পিনহোল বা সূচীছিদ্রের কাজ করে এবং নীচের মাটি পিনহোল ক্যামেরার পর্দার মতো কাজ করে। সূর্য এখানে বস্তু এবং ঐ বৃত্ত উপবৃত্তাকার আলোকিত স্থানগুলি বিম্ব। সূর্য মাথার উপরে থাকিলে বিম্বগুলি ঠিক সূর্যের মতো বৃত্তাকার হয়। কিন্তু সূর্য হেলিয়া পড়িলে সূচীছিদ্র হইতে অপসৃত আলোকের কিরণটির উপর তির্যক ভাবে পড়ায় বিম্বগুলি উপবৃত্তের মতো দেখায়।

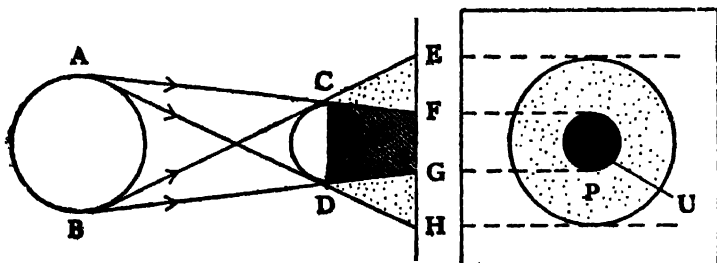
ছায়ার গঠন

আমরা পূর্বে দেখিয়াছি আলোক সরলরেখায় গমন করে বলিয়াই ছায়ার সৃষ্টি হয়। ছায়া সম্পূর্ণ অন্ধকার বা আংশিক আলোকিত হইতে পারে। আলোকের উৎস এবং প্রতিবন্ধকের (obstacle) আপেক্ষিক আয়তন (অর্থাৎ কোন্‌টি বড়, কোন্‌টি ছোট), প্রভৃতির উপর ছায়ার প্রকৃতি নির্ভর করে।

৭নং চিত্র : বিন্দুউৎসের ছায়া-অঞ্চল

বিন্দুউৎস : আলোকের উৎসটি একটি বিন্দুর মতো ছোট হইলে ইহার ছায়া সর্বদা অপসারী (diverging) হয়, অর্থাৎ ছায়ার আয়তন ক্রমশ বাড়িয়া যায়।

মনে করা যাক, S একটি বিন্দুউৎস (Point of source) এবং AB একটি প্রতিবন্ধক। AC রেখার নীচে কিন্তু BD রেখার উপরে AB-র ডান-দিকে যে স্থান সেখানে আলোকরশ্মি যাইতে পারে না। সুতরাং CABD ছায়া-অঞ্চল (Shadow region) ক্রমশ বিস্তৃত হইয়া অগ্রসর হয়।

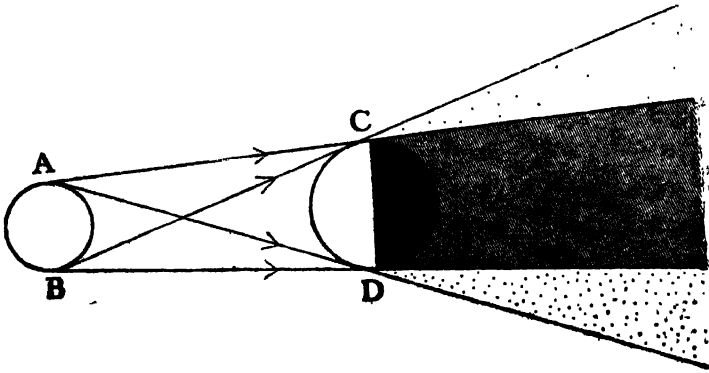
বিস্তৃত উৎস : উৎসের কিছু আয়তন থাকিলে উহাকে বিস্তৃত উৎস (Extended source) বলা হয়। বিস্তৃত উৎসের ক্ষেত্রে বিভিন্ন প্রকারের ছায়া সৃষ্টি হইতে পারে। পরবর্তী উদাহরণগুলিতে সুবিধার জন্য উৎস ও প্রতিবন্ধক উভয়কেই বর্তুলাকার (spherical) কল্পনা করা হইল।

বড় উৎস, ছোট প্রতিবন্ধক : উৎস প্রতিবন্ধক হইতে বৃহত্তর হইলে ছায়াটি অভিসারী (Convergent) হয়। চিত্রে CDGF এইরূপ অভিসারী ছায়া অঞ্চল। এই অংশে সমগ্র উৎসের কোনও অংশ হইতেই কোনও আলোক যাইতেছে না। কারণ A হইতে আলোক CF রেখার নীচে আসিতে পারে না এবং B হইতে আলোক DG রেখার উপরে যাইতে পারে না। সুতরাং A ও Bএর মধ্যবর্তী কোনও বিন্দু হইতে আলোক CDGF অংশের মধ্যে যাইতে পারে না। এইরূপ সম্পূর্ণ-ছায়া-অঞ্চলকে **প্রচ্ছায়া** (Umbra) বলে।

৮নং চিত্র : প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া

CEF এবং DGH আংশিক আলোকিত অঞ্চল। এই অঞ্চল AB উৎসের সমস্ত অংশ দ্বারা আলোকিত হয় না। CFE অঞ্চল AB উৎসের উপরের অংশ দ্বারা এবং DGH অংশ AB উৎসের নীচের অংশ দ্বারা আলোকিত হয়। এইরূপ আংশিক আলোকিত অঞ্চলকে **উপচ্ছায়া** (Penumbra) বলে। একটি পর্দা বইয়ের পাতার সহিত লম্বভাবে আছে মনে করিলে ইহার উপর প্রচ্ছায়া U ও উপচ্ছায়া P কিরূপ দেখা যাইবে তাহা পাশে দেখান হইয়াছে।

ছায়াশঙ্কু : মোচার গোলার অগ্রভাগের মতো গঠনের বস্তুকে শঙ্কু (Cone) বলে। CDGF প্রচ্ছায়াটি শঙ্কুর আকৃতি, সেইজন্য ইহাকে ছায়াশঙ্কু (Cone of shadow) বা প্রচ্ছায়া-শঙ্কু (Umbral cone) বলা হয়।

ছোট উৎস, বড় প্রতিবন্ধক : উৎস অপেক্ষা প্রতিবন্ধক বৃহত্তর হইলে, প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার শঙ্কু দুইটি অপসারী (Divergent) হয়, অর্থাৎ ইহাদের বিস্তার ক্রমশ বাড়িয়া চলে। ৯নং চিত্রে ইহা দেখান হইয়াছে।

প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার কয়েকটি উদাহরণ ঃ কোনও বিমান বা পাখি যদি মাটি হইতে অনেক উচ্চতায় উড়িয়া চলে তাহা হইলে মাটির উপর উহার ছায়া পড়ে না। এখানে আলোকের উৎস সূর্য এবং প্রতিবন্ধক পাখি বা এরোপ্লেন। সুতরাং উৎস বড় এবং প্রতিবন্ধক ছোট। সেই জন্য ছায়াশঙ্কুটি অভিসারী হয়। প্রতিবন্ধক যদি ভূমি হইতে অনেক উচ্চে থাকে তাহা হইলে

৯নং চিত্র ঃ প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া

ছায়াশঙ্কুর প্রান্তবিন্দুটিও ভূমি স্পর্শ করিতে পারে না। সুতরাং কোনও ছায়া পড়ে না। আবার উহারা নীচে নামিয়া আসিলে যখন ছায়া পড়ে, তখন দেখা যায় ছায়াটি সুনির্দিষ্ট সীমারেখাবিশিষ্ট নহে; উহার মধ্যভাগ ঘন, কিন্তু উহার চারিধার তত ঘন নহে। মধ্যভাগে প্রচ্ছায়া এবং তাহার চারিপাশে উপচ্ছায়া থাকার জন্য এইরূপ হয়। আলোর বিপরীত দিকে ঘরের দেওয়াল হইতে কিছু দূরে একটি লাঠি বা ঐরূপ কোনও বস্তু ধরিলে দেওয়ালে যে ছায়া পড়িবে তাহাতেও প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া দেখা যাইবে।

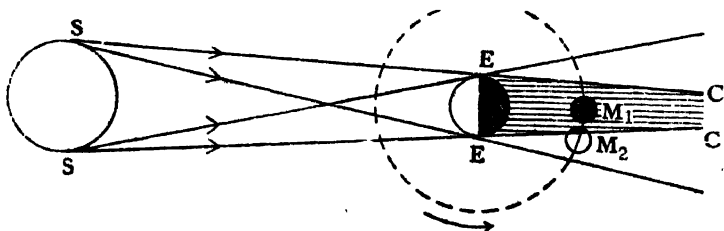
গাছের নীচে যে পাতার ছায়া পড়ে সেই ছায়া ভাল করিয়া লক্ষ্য করিলে ছায়ার মাঝখানে ঘন কালো প্রচ্ছায়া এবং উহার চারিদিকে উপচ্ছায়া দেখা যাইবে।

গ্রহণ

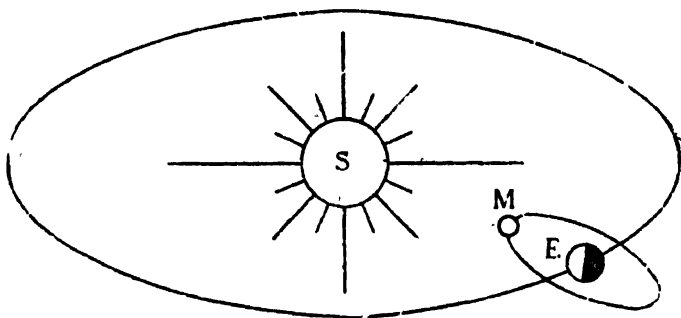
[Eclipses]

চন্দ্রগ্রহণ

আমরা জানি পৃথিবী তাহার কক্ষপথে সূর্যের চারিদিকে ঘুরিতেছে এবং চন্দ্র পৃথিবীর চারিদিকে ঘুরিতেছে। এইরূপে পৃথিবীর চারিদিকে ঘুরিবার সময় চন্দ্র কখনও পৃথিবীর প্রচ্ছায়া শঙ্কুর মধ্যে প্রবেশ করিলে আমরা চন্দ্রকে আর দেখিতে পাই না। কারণ চন্দ্রের নিজস্ব কোনও আলোক নাই, সূর্যের আলো পড়িয়াই চন্দ্র আলোকিত হয়। কখনও চন্দ্র প্রচ্ছায়া শঙ্কুর মধ্যে সম্পূর্ণ প্রবেশ করে, তখন **পূর্ণগ্রহণ** (Total Eclipse) হয়। আবার কখনও

চন্দ্র প্রচ্ছায়ার মধ্যে আংশিক প্রবেশ করিয়া বাহির হইয়া আসে। তখন **আংশিক গ্রহণ** হয়।

১০নং চিত্র : চন্দ্রগ্রহণ

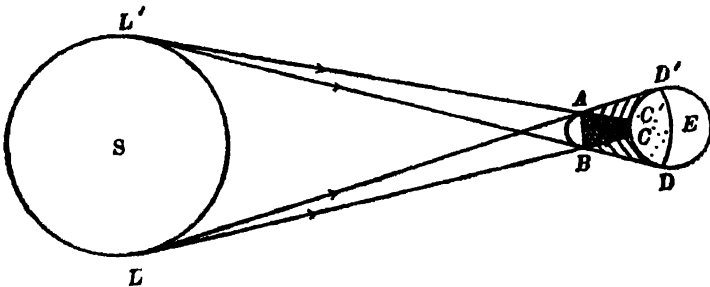
১০নং চিত্রে দেখা যাইতেছে পৃথিবী যখন চন্দ্র ও সূর্যের মাঝখানে থাকে তখন চন্দ্রগ্রহণ হয়। এইরূপ অবস্থান পূর্ণিমার দিনে হইয়া থাকে। কিন্তু সকল পূর্ণিমার দিনেই চন্দ্র ছায়াশঙ্কুর মধ্যে প্রবেশ করে না। নতুবা সকল পূর্ণিমার দিনেই পূর্ণচন্দ্রের পরিবর্তে আমরা গ্রহণ দেখিতে পাইতাম।

পৃথিবী ও চন্দ্রের কক্ষ বা ভ্রমণপথ দুইটি এক সমতলে অবস্থিত নয়। সুতরাং সকল পূর্ণিমার রাত্রে চন্দ্র, পৃথিবী ও সূর্য ঠিক সমসূত্রে

১১নং চিত্র : পৃথিবী ও চন্দ্রের কক্ষপথ

অবস্থিত হয় না। সেই কারণে পূর্ণিমার দিনে সাধারণত চন্দ্র পৃথিবীর ছায়া-শঙ্কুর বাহিরে থাকে। কিন্তু মাঝে মাঝে পূর্ণিমার সময় সূর্য্য চন্দ্র ও পৃথিবীর অবস্থান একই সমতলে আসিয়া পড়ে। ঠিক তখনই চন্দ্রগ্রহণ (Lunar Eclipse) হয়।

চন্দ্রগ্রহণের ঠিক পূর্বে এবং পরে লক্ষ্য করিলে দেখা যায় চন্দ্রের উজ্জ্বলতা অনেক হ্রাস পাইয়াছে। ইহার কারণ (১০নং চিত্রে দেখা যাইতেছে) প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর চারিদিকে উপচ্ছায়া-অঞ্চল। ইহা আংশিক আলোকিত। সুতরাং গ্রহণের পূর্বে এবং পরে এই আংশিক আলোকিত প্রচ্ছায়া-অঞ্চলে অবস্থান করে বলিয়া চন্দ্রকে ম্লান দেখা যায়।

সূর্যগ্রহণ
[Solar Eclipse]

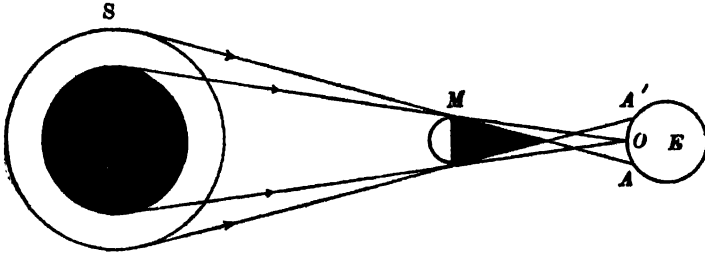
চন্দ্র যখন সূর্য ও পৃথিবীর ঠিক মাঝখানে আসে, তখন চন্দ্রের প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া উভয়ই পৃথিবীর উপর আসিয়া পড়ে। ১২নং চিত্রে S সূর্য AB চন্দ্র এবং E পৃথিবী। পৃথিবীর উপর প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া অঞ্চল পৃথক ভাবে দেখা যাইতেছে। প্রচ্ছায়া অঞ্চলে সূর্য হইতে আলোক একেবারেই আসে না। সেইজন্য প্রচ্ছায়া অঞ্চলের লোকেরা সূর্যকে দেখিতে পাইবে না। সুতরাং এই অংশে পূর্ণ সূর্যগ্রহণ হইবে। উপচ্ছায়া অঞ্চলে আংশিকভাবে সূর্যালোক আসিবে এবং ইহার কোনও স্থান হইতেই সূর্যের সম্পূর্ণ গোলকটি দেখা যাইবে না। এইজন্য উপচ্ছায়া অংশে আংশিক সূর্যগ্রহণ দেখা যাইবে।

১২নং চিত্র : সূর্যগ্রহণ

চন্দ্র সূর্য ও পৃথিবীর মাঝখানে আসে অমাবস্যার দিন। এইজন্য অমাবস্যার দিনেই সূর্যগ্রহণ হইতে দেখা যায়। কিন্তু সকল অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ হয় না, ইহা আমরা জানি। কারণ সকল অমাবস্যাতেই চন্দ্র ঠিক পৃথিবী ও সূর্যের সহিত সমসূত্রে অবস্থান করে না।

চন্দ্রগ্রহণ ও সূর্যগ্রহণের মধ্যে একটি পার্থক্য লক্ষ্য করা গেল। চন্দ্রগ্রহণ হইলে তাহা পৃথিবীর সর্বত্র দৃষ্ট। কিন্তু সূর্যগ্রহণের ক্ষেত্রে পৃথিবীর যখন যে অংশে প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর প্রান্তভাগ স্পর্শ করে তখন সেই অংশেই পূর্ণ সূর্যগ্রহণ দেখা যায় এবং উহার চারিপাশে বিস্তীর্ণ অঞ্চল হইতে আংশিক সূর্যগ্রহণ দেখা যায়।

বলয়গ্রাস
[Annular Eclipse]

সূর্যের বলয়গ্রহণের সময় সূর্যের বাহিরের অংশটি বলয়ের মত এবং মাঝখানের অংশ অন্ধকার দেখায়। চন্দ্র পৃথিবীর চতুর্দিকে উপবৃত্তে ঘুরিতেছে বলিয়া পৃথিবী ও চন্দ্রের দূরত্বের হ্রাসবৃদ্ধি হয়। পৃথিবী ও চন্দ্রের দূরত্ব বেশী হইলে চন্দ্রের প্রচ্ছায়া শঙ্কু (umbral cone) পৃথিবী স্পর্শ করে না। চিত্রে সূর্য, চন্দ্র ও পৃথিবীর এই অবস্থান দেখান হইয়াছে। এইরূপ অবস্থানে প্রচ্ছায়া শঙ্কুকে পৃথিবীপৃষ্ঠ পর্যন্ত

প্রলম্বিত করিলে তাহা যে অংশে পৃথিবীকে ছেদ করে তাহার মধ্যস্থিত দর্শক সূর্যবিম্বের মধ্যস্থলকে অন্ধকার ও বাহিরের বলয়াকৃতি অংশ আলোকিত দেখে।

১৩নং চিত্র : বলয়গ্রাস

প্রলম্বিত প্রচ্ছায়া শঙ্কু পৃথিবী পৃষ্ঠকে যে অংশে ছেদ করে তাহার বাহিরের দর্শক আংশিক গ্রহণ দেখিয়া থাকে।

সারাংশ

আলোক : আলোক এক প্রকার শক্তি যাহা আমাদের দর্শনানুভূতি জন্মায়। কোনও বস্তু হইতে আলোকের কিরণ আসিয়া আমাদের চক্ষুতে প্রবেশ করিলে আমরা ঐ বস্তুকে দেখিতে পাই।

আলোকের স্বরূপ : আলোককে এক প্রকারের শক্তির বিকিরণ বলা যাইতে পারে। আলোকের বেগ প্রচণ্ড—সেকেণ্ডে 1,86 000 মাইল।

আলোকের মাধ্যম : আলোকের উৎস হইতে গন্তব্যস্থলের মধ্যবর্তী স্থানকে আলোক মাধ্যম (Medium) বলে। মাধ্যম শূন্যতাময় বা বাস্তব হইতে পারে। বাস্তব মাধ্যমের মধ্যে যে সকল মাধ্যমের ভিতর দিয়া আলোক বিনা বাধায় চলাচল করে তাহাদের বলে **স্বচ্ছ** (Transparent) মাধ্যম, যেমন—কাচ, জল। যেগুলির মধ্য দিয়া আলোক মোটেই যাইতে পারে না তাহাদের বলে **অস্বচ্ছ বা অনচ্ছ** (Opaque) মাধ্যম, যেমন—কাঠ, লোহা; আর যেগুলির ভিতর দিয়া আলোক আংশিকভাবে যাইতে পারে তাহাদের বলে **ঈষদচ্ছ** (Translucent) মাধ্যম, যেমন—ঘষা কাচ (Ground Glass), তৈলাক্ত কাগজ। কোনও মাধ্যমের মধ্যে সর্বত্র আলোক চলাচলের ক্ষমতা ও ঘনত্ব প্রভৃতি সমান হইলে তাহাকে **সমসত্ত্ব মাধ্যম** (Homogeneous medium) বলে।

রশ্মি ও কিরণ : আলোকের গমনপথকে আলোকরশ্মি (Ray) এবং আলোকরশ্মির একটি গুচ্ছকে কিরণ (Beam) বলে। আলোকের কিরণ সমান্তরাল (Parallel), অপসারী (Divergent) অথব অভিসারী (Convergent) হইতে পারে।

আলোকরশ্মি সরলরেখায় গমন করে। ছায়ার নির্দিষ্ট আকার, কার্ডবোর্ড ও মোমবাতির পরীক্ষা এবং পিনহোল ক্যামেরার সাহায্যে ইহা প্রমাণিত হয়।

ছায়া : অস্বচ্ছ প্রতিবন্ধক দ্বারা আলোকের কিরণ বাধাপ্রাপ্ত হইলে ছায়ার সৃষ্টি হয়। ছায়ার সম্পূর্ণ অন্ধকার অংশকে **প্রচ্ছায়া** (Umbra) এবং আংশিক আলোকিত অংশকে **উপচ্ছায়া** (Penumbra) বলে। আলোকের উৎস ও প্রতিবন্ধকের আপেক্ষিক আয়তনের (অর্থাৎ কোন্‌টি বড়, কোন্‌টি ছোট তাহার) উপর প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার গঠন নির্ভর করে। অভিসারী প্রচ্ছায়াকে **ছায়াশঙ্কু** (cone of shadow) বা **প্রচ্ছায়া-শঙ্কু** বলে।

গ্রহণ (Eclipses) **:** সৌরজগতে সূর্যই উৎস। পৃথিবীর দ্বারা উৎপন্ন ছায়াশঙ্কুর মধ্যে চন্দ্র আংশিক বা সম্পূর্ণ প্রবেশ করিলে আংশিক বা পূর্ণ **চন্দ্রগ্রহণ** হয়। আবার চন্দ্রের দ্বারা উৎপন্ন ক্ষুদ্র ছায়াশঙ্কুর অগ্রভাগ পৃথিবীর যে অংশের উপর পড়ে সেই অংশে **সূর্যগ্রহণ** হয়। ঐ সময় চন্দ্রের দ্বারা উৎপন্ন উপচ্ছায়া পৃথিবীর যে সকল স্থানে পড়ে সেই সকল স্থানে আংশিক সূর্যগ্রহণ হয়।

অনুশীলনী

1. *How can we see any object ?*

2. *What is the speed of light ?*

3. *What is a medium of light ? What are transparent, opaque and transluscent media ? Give an example of each. What are homogeneous and heterogeneous media ?*

4. *What do you mean by a ray and a beam of light ? Describe an experiment which verifies rectilinear propagation of light.*

5. *Describe a pin-hole camera and explain how it forms an image. Why is the hole of the pin-hole camera very small ?*

6. *A tree 20ft. high is at a distance of 40ft. from a pin-hole camera of length 8 inches. Find the size of the image.*

7. *The hole of a pinhole camera is 25 c.m. from the screen. A tree 40 metres away forms an image 5 c.m. high on the screen. What is the height of the tree ?*

8. *What is a shadow ? What are umbra and penumbra ? Explain with necessary diagrams the formation of umbra and penumbra in the following cases :*

(i) smaller source and larger obstacle.

(ii) larger source and smallar obstacle.

9. *A man $5\frac{1}{2}$ ft. in height stands at a distance of $13\frac{1}{2}$ ft. from a lamp-post and finds his shadow to be $16\frac{1}{2}$ ft. long. What is the height of the lamp-post*

10. *When an aeroplane or a bird flies high above, it casts no shadow on the ground, but if it flies at a lower height it casts a shadow which is dense at the middle and thin at the edge.—Explain why.*

11. *Explain with diagrams why Solar and Lunar eclipses occur. Why does not a solar eclipse occur on every new moon day and a lunar eclipse on every full moon day? A lunar eclipse is visible all over the earth, but a solar eclipse only over a limited area at a time.—Explain why.*

উত্তর

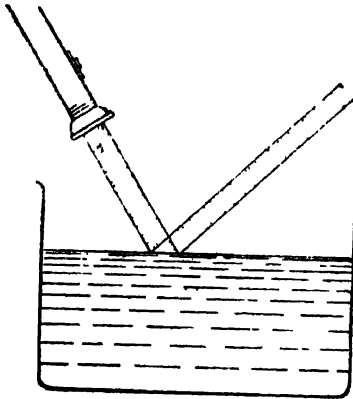
6. 4 inches, 7. 8 metres 9. 10 ft.

দ্বিতীয় অধ্যায়

আলোকের প্রতিফলন

[Reflection of Light]

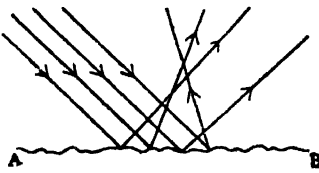
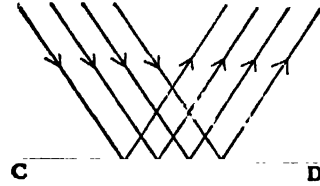
প্রতিফলন কি ?

একখানি আর্শিকে রৌদ্রের দিকে ধরিলে সূর্যালোক আর্শির তলের উপর পড়িয়া আবার ফিরিয়া আসে এবং আর্শিখানিকে ঘুরাইয়া ঐ আলোককে ঘরের দেওয়ালে ফেলা যাইতে পারে। অন্ধকার ঘরে একখানি আর্শি বা একটি পাত্রে রাখা জলের উপরিতলের উপর তির্যকভাবে টর্চের আলো ফেলিলেও আলোকের কিরণকে এইরূপে ভিন্ন পথে ফিরিয়া আসিতে দেখা যায় এখানে সূর্যালোক বা টর্চের আলোক বাতাসের ভিতর দিয়া অগ্রসর হইয়া দ্বিতীয় কোনও মাধ্যমের (যেমন জল অথবা কাচ) উপর পড়িতেছে এবং দ্বিতীয় মাধ্যম হইতে প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসিতেছে। এইরূপ **কোনও আলোকের কিরণের এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমের উপর পড়িয়া আবার প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসাকে আলোকের প্রতিফলন** Reflection of Light) বলে।

১৪নং চিত্র : টর্চের আলোর প্রতিফলন

সুষম ও অসম (বা বিক্ষিপ্ত) প্রতিফলন

Regular and Diffuse Reflection]

টর্চের আলোক স্থির জলের উপরিতলে বা আয়নার উপরে ফেলিলে অন্ধকার ঘরে প্রতিফলিত কিরণ দেখা যায় অথচ দেওয়াল বা মেঝের উপর ফেলিলে প্রতিফলিত কিরণ দেখা যায় না। তাহা হইলে দেওয়াল বা কাগজের উপর পড়িলে কি আলোকের প্রতিফলন হয় না? প্রকৃতপক্ষে এক্ষেত্রেও প্রতিফলন হয়। কিন্তু প্রতিফলিত রশ্মিগুলি অনিয়মিত বা এলো-মেলো পথে ধাবিত হয় বলিয়া প্রতিফলিত কিরণ দেখা যায় না। দেওয়াল, ঘরের মেঝে, টেবিলের উপরিতল, কাগজ প্রভৃতি যে সমস্ত তলকে খালি চোখে দেখিলে মসৃণ বলিয়া মনে হয়, আলেকরশ্মির ক্ষেত্রে উহারা মসৃণ নহে। বীক্ষণ কাচের (Magnifying glass) সাহায্যে দেখিলে এইরূপ তলকে ১৫নং চিত্রের AB তলের মতো দেখায়। আলোকের রশ্মিগুলি জ্যামিতিক রেখার মতো সূক্ষ্ম,

সেই জন্য AB তলটি আলোকরশ্মির ক্ষেত্রে বন্ধুর তল হইবে। মসৃণ ধাতুফলক (Metal plate), পালিশ করা কাঠ, কাচ, স্থির জলের উপরিতল প্রভৃতি আলোক রশ্মির ক্ষেত্রে মসৃণ তল হইবে। বন্ধুর তলে আলোকের প্রতিফলন কিরূপ হইবে তাহা ১৫নং চিত্র হইতে বুঝা যাইবে। AB বন্ধুর তলের উপর একটি

১৫নং চিত্র : অসম প্রতিফলন

১৬নং চিত্র : সুষম প্রতিফলন

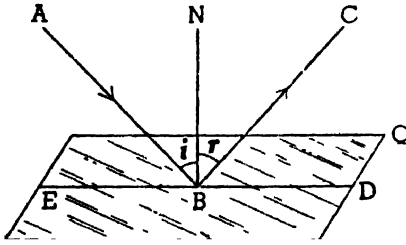
সমান্তরাল কিরণ পড়িয়াছে, কিন্তু কিরণের রশ্মিগুলি যে সমস্ত স্থানে AB তলের উপর পড়িয়াছে উহাদের অবস্থান সর্বত্র একরকম নহে। তাহার ফলে প্রতিফলনের পরে রশ্মিগুলি বিভিন্ন দিকে বিচ্ছিন্নভাবে ছড়াইয়া পড়িয়াছে। এইরূপ প্রতি-ফলনকে **অসম বা বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন** (Diffuse reflection) বলে। কিন্তু CD মসৃণতলের উপর যে সমান্তরাল কিরণটি পড়িয়াছে, উহার রশ্মিগুলি তলের যে সমস্ত স্থানে পড়িয়াছে উহার সর্বত্র তলটির অবস্থান একইরূপ সেই জন্য প্রতিফলনের পরও রশ্মিগুলি একটি সমান্তরাল কিরণে পরিণত হইয়াছে। এই প্রতিফলনকে **সুষম প্রতিফলন** (Regular reflection) বলে।

কোনও বস্তু হইতে অসম প্রতিফলন হইলেই আমরা ঐ বস্তুকে স্পষ্ট দেখিতে পাই। আমাদের চতুর্দিকে যে সমস্ত বস্তু আমরা দেখিতে পাই ঐ সকল বস্তুর উপরের বন্ধুর তল হইতে অসমভাবে প্রতিফলিত আলোক আমাদের চোখে প্রবেশ করিলে ঐ সকল বস্তু আমরা দেখিতে পাই। কিন্তু সুষম প্রতিফলনের ক্ষেত্রে যে বস্তু বা উৎস হইতে আলোক আসিয়া আয়না বা অন্য প্রতিফলকে প্রতিফলিত হইতেছে সেই বস্তু বা উৎসকেই আমরা দেখিতে পাই। আমরা আয়নায় যে প্রতিবিম্ব দেখি উহা সুষম প্রতিফলনের জন্য দেখা যায়।

প্রকৃতপক্ষে আলোকরশ্মি যখন একটি মাধ্যম হইতে অপর একটি মাধ্যমের উপর পতিত হয় তখনই প্রতিফলন হয়। বায়ু হইতে জলের উপরে বা কাচের উপরে আলোকরশ্মি পড়িলে প্রতিফলন হয়। বায়ু একটি মাধ্যম এবং কাচ অথবা জল অপর একটি মাধ্যম। দুইটি মাধ্যমের স্পর্শতল বা **বিভেদতল** (Surface of Separation) হইতে আলোকরশ্মি প্রতিফলিত হইয়া থাকে।

কয়েকটি সংজ্ঞা

প্রতিফলনের ক্ষেত্রে কয়েকটি সংজ্ঞা জানিয়া রাখা প্রয়োজন। প্রথমে ঐ সংজ্ঞাগুলি সম্বন্ধে আলোচনা করা হইল :

আপতিত রশ্মি : যে রশ্মি এক মাধ্যম হইতে অপর মাধ্যমের

বিভেদতলের উপর পতিত হয় তাহাকে আপতিত রশ্মি (Incident ray) বলে। চিত্রে AB রশ্মিটি উপরের মাধ্যম হইতে নীচের মাধ্যমের বিভেদতল EQ তলের উপর পতিত হইয়াছে। অতএব AB আপতিত রশ্মি।

১৭নং চিত্র : আলোকের প্রতিফলন

আপতন বিন্দু : যে বিন্দুতে আপতিত রশ্মি বিভেদতলের উপর পতিত হয় তাহাকে আপতন বিন্দু (Point of incidence) বলে। চিত্রে B আপতন বিন্দু।

অভিলম্ব : কোনও সমতলের উপর লম্বকে অভিলম্ব (Normal) বলে। BN রেখাটি B বিন্দুতে EQ সমতলের উপর অভিলম্ব।

প্রতিফলিত রশ্মি : কোনও রশ্মি প্রতিফলনের পরে যে পথে চলে তাহাকে উহার প্রতিফলিত রশ্মি (Reflected ray) বলে। BC প্রতিফলিত রশ্মি।

আপতন কোণ : আপতিত রশ্মি ও অভিলম্বের মধ্যবর্তী কোণকে আপতন কোন (Angle of incidence) বলে। $\angle$ABN (বা i) আপতন কোন।

প্রতিফলন কোণ : প্রতিফলিত রশ্মি ও অভিলম্বের মধ্যবর্তী কোণকে প্রতিফলন কোণ (Angle of reflection) বলে। $\angle$CBN (বা r) প্রতিফলন কোণ।

প্রতিফলনের নিয়ম : সুষম প্রতিফলনের ক্ষেত্রে আলোকরশ্মি দুইটি নিয়ম অনুসরণ করিয়া চলে। ইহাদের প্রতিফলনের নিয়ম (Laws of reflection) বলে। প্রতিফলনের নিয়ম দুইটি নিম্নলিখিত রূপ :

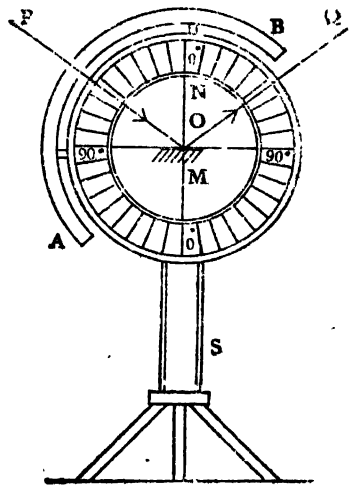
1. আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে বিভেদতলের উপর অভিলম্ব ও প্রতিফলিত রশ্মি সর্বদা এক সমতলে অবস্থিত হয়।

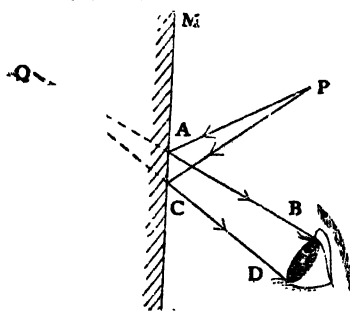
2. আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ সর্বদা সমান হয়।

অর্থাৎ ১৭নং চিত্রে AB, BN ও BC সরলরেখা তিনটি এক সমতলে অবস্থিত এবং $i=r$ হইবে।

হার্টলের আলোকচক্র
[Hartle's Optical Disc]

হার্টল-এর আলোকচক্র কাঠ বা কার্ডবোর্ড নির্মিত একখানি চক্র। প্রতিফলনের নিয়ম দুইটির সত্যতা পরীক্ষার জন্য ইহা ব্যবহৃত হয়। ইহার

পরিধিকে চারটি চতুর্থাংশ বা পাদে (Quadrant) ভাগ করিয়া প্রত্যেক পাদকে 90 ডিগ্রীতে ভাগ করা আছে। কেন্দ্রস্থলে M একখানি ছোট সমতল- দর্পণ। চক্রটি একটি কাঠামো S-এর উপর খাড়াভাবে অবস্থিত থাকে। ইহার পাশে AB একটি বৃত্তাংশের আকারে কাটা ধাতুর পাত। উহার মাঝখানে একটি স্লিট (slit) আছে। ON রেখা M দর্পণের উপর O বিন্দুতে অভিলম্ব হইবে। ON রেখার অবস্থানকে 0° ধরিয়া চক্রের পাদগুলি ডিগ্রীতে ভাগ করা আছে। AB পাতটিকে চক্রের কেন্দ্র O বিন্দুগামী অনুভূমিক অক্ষের চারি দিকে ঘুরানর ব্যবস্থা আছে। অন্ধকার ঘরে AB-এর পশ্চাতে কোনও আলোকের উৎস এমনভাবে রাখিতে হইবে যে ছিদ্রপথে সূক্ষ্ম আলোক-কিরণ প্রবেশ করিয়া দর্পণের উপর চক্রের কেন্দ্র O বিন্দুতে আপতিত হয়। PO আপতিত কিরণের পাশে লিখিত সংখ্যা হইতে আপতন কোণ ∠PON বা i এবং OQ প্রতিফলিত কিরণের পাশের সংখ্যা হইতে প্রতিফলন কোণ QON বা r-এর পরিমাণ জানা যাইবে। AB ও উহার সহিত আলোকের উৎসকে সরাইয়া বিভিন্ন আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ পর্যবেক্ষণ করিলে দেখা যাইবে প্রত্যেক ক্ষেত্রেই আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ সমান। ইহা দ্বারা প্রতিফলনের দ্বিতীয় নিয়মটি প্রমাণিত হইবে। PO, OQ এবং অবিলম্ব ON তিনটি রেখাই সর্বদা আলোকচক্রের তলের উপর অবস্থিত হওয়ায় প্রতিফলনের প্রথম নিয়মও প্রমাণিত হইবে।

১৮নং চিত্র : হার্টল-এর আলোকচক্র

বিম্ব বা প্রতিবিম্ব : আয়নার সম্মুখে কোনও বস্তু থাকিলে আয়নার ভিতর উহার যে প্রতিরূপ দেখা যায় তাহাকে **প্রতিবিম্ব** বা **বিম্ব** (Image) বলে। আলোকের প্রতিফলনের জন্য এই বিম্ব দেখা যায়। কোনও বস্তু হইতে আলোকের রশ্মিগুচ্ছ আসিয়া আমাদের চক্ষুতে প্রবেশ করিলে আমরা সেই বস্তুটিকে দেখিতে পাই। আলোকরশ্মি যদি প্রতিফলিত হইয়া দিক পরিবর্তন করে তাহা হইলে প্রতিফলনের পর যে দিক হইতে রশ্মি আসিতেছে সেই দিকে বস্তুটি আছে বলিয়া মনে হয়। এইরূপে প্রতিফলনের দ্বারা বিম্বের সৃষ্টি হয়।

১৯নং চিত্র
সমতল দর্পণে বিম্বের উৎপত্তি

M আয়নাখানির সম্মুখে P একটি বিন্দু। P বিন্দু হইতে আলোকরশ্মির একটি অপসারী (divergent) গুচ্ছ বাহির হইয়া আয়নার উপর পড়িয়া প্রতিফলিত হইয়া চোখে পড়িয়াছে। প্রতিফলিত রশ্মি AB এবং CD-র দিকে চাহিলে মনে হইবে অপসারী কিরণটি যেন আয়নার পশ্চাৎবর্তী Q বিন্দু হতে অপসৃত হইয়া আসিতেছে। এরূপ ক্ষেত্রে বস্তুটি যেন Q বিন্দুতে আছে বলিয় মনে হইবে। এইরূপে Q বিন্দুতে P বিন্দুর একটি প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হইবে। সুতরাং সমতল দর্পণে প্রতিফলনের দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিম্বের এইরূপ সংজ্ঞা নির্দেশ করা যায় :

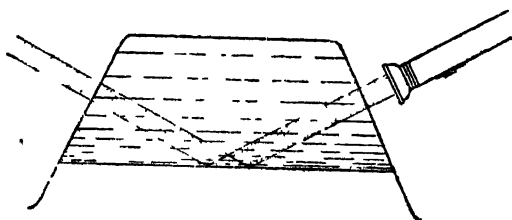
কোনও বিন্দু হইতে একটি অপসারী আলোকের কিরণ বাহির হইয়া সমতল দর্পণে প্রতিফলিত হইবার পর যে বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় তাহাকে ঐ বিন্দুর প্রতিবিম্ব বা বিম্ব বলা হয়।

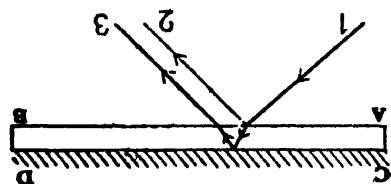
কোনও নির্দিষ্ট আয়তনবিশিষ্ট বস্তুকে কতকগুলি বিন্দুর (বা বস্তুকণার) সমষ্টি-রূপে কল্পনা করা যায়। ইহাদের বিন্দুবস্তু (Point object) বলা যাইতে পারে। প্রত্যেকটি বিন্দুবস্তুর একটি করিয়া বিন্দুবিম্ব (Point image) হইবে এবং ঐ বিন্দুবিম্বগুলির সহযোগে সমগ্র বস্তুটির বিম্ব দেখা যাইবে।

এখানে যে ধরনের বিম্বের কথা বলা হইল এইরূপ বিম্বের কোনও বাস্তব অস্তিত্ব নাই, কারণ প্রতিফলনের পরে রশ্মিগুলি Q বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় মাত্র, প্রকৃতপক্ষে ঐ বিন্দু হইতে কোনও আলোকরশ্মি আসে না, এবং পর্দার উপরে এইরূপ বিম্বের কোনও ছবিও পড়ে না। এইরূপ বিম্বকে অলীক বিম্ব বা **অসদ্বিম্ব** (Virtual Image) বলে। কখনও কখনও আলোক রশ্মিগুলি প্রতিফলনের (বা প্রতিসরণের) পরে বাস্তবিক কোনও বিন্দুতে মিলিত হয়। এইরূপ বিম্বকে বাস্তব বা **সদ্বিম্ব** (Real Image) বলে।

[এখানে কেবল প্রতিফলনের দ্বারা উৎপন্ন বিম্বের কথা বলা হইল। অন্য কারণেও বিম্ব উৎপন্ন হইতে পারে, যেমন প্রতিসরণের দ্বারা। তাহার কথা পরে বলা হইবে।]

বিভিন্ন প্রতিফলকের প্রতিফলন তল (Reflecting Surface) : আমরা দেখিয়াছি আলোকরশ্মি যখন এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমের উপর পড়ে তখন উভয় মাধ্যমের বিভেদতলে প্রতিফলন হয়। অতএব বায়ু হইতে যদি আলোকরশ্মি জলের উপর পড়ে তাহা হইলে জলের উপরিতল হইতে প্রতিফলন হইবে। অন্ধকার ঘরে স্থির জলের উপর টর্চের আলো ফেলিলে ইহা লক্ষ্য করা যায়। (১৪নং চিত্র দেখ।)

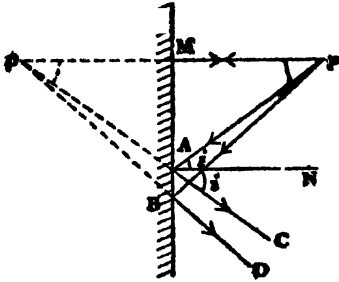
২০নং চিত্র : জল হইতে বায়ুতে আপতিত রশ্মির প্রতিফলন

আবার জলপূর্ণ কাচের পাত্রের পাশ দিয়া টর্চের আলো এমনভাবে ফেলা হইল যে আলোর কিরণ ২০নং চিত্রের মতো জলের ভিতর দিয়া জল ও বায়ুর বিভেদ তলে আপতিত হইল। এক্ষেত্রেও বায়ু হইতে আলোকের কিরণটি প্রতিফলনের নিয়ম অনুসারে প্রতিফলিত হইবে।

দর্পণ: যে কোনও মসৃণ প্রতিফলন তলবিশিষ্ট বস্তুকেই দর্পণ বলা যায়। সেই হিসাবে মসৃণ ধাতুফলকও দর্পণ। তবে সাধারণ দর্পণ বলিতে আমরা একপৃষ্ঠে ধাতুনির্মিত পাতলা প্রতিফলক স্তর লেপন করা কাচের ফলককে বুঝিয়া থাকি। এইরূপ একটি দর্পণকে বেধের দিক হইতে দেখিলে যে তলটি দেখা যায় উহাকে দর্পণটির ছেদ (section) বলা হয়। চিত্রে ABDC এইরূপ একটি দর্পণের ছেদ। AB রেখা দর্পণের সম্মুখভাগ এবং CD রেখা পশ্চাৎভাগকে বুঝাইতেছে। CD-র উপর প্রতিফলক স্তর (যাহাকে চলিত কথায় পারা বলা হয়) লেপন করা আছে। ইহা বুঝাইবার জন্য CD রেখার উপর তির্যকভাবে কতকগুলি ছোট ছোট রেখা টানিয়া দেওয়া হয়।

২১নং চিত্র : দর্পণের প্রতিফলন

এইরূপ দর্পণে প্রতিফলন কি ভাবে হয়? বায়ু হইতে সম্মুখের কাচের তল AB-র উপরে সামান্য প্রতিফলন হয়। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে অধিক প্রতিফলন হয় ভিতরের CD প্রতিফলক স্তরে, কারণ ইহার প্রতিফলন ক্ষমতা (reflecting power) খুব বেশী। চিত্রে 2 চিহ্নিত রশ্মিটি অনুজ্জ্বল এবং 3 চিহ্নিত রশ্মিটি উজ্জ্বল। এইজন্য পুরু আয়নায় তির্যকভাবে দেখিলে একটি আবছায়া এবং একটি উজ্জ্বল এইরূপ দুইটি প্রতিবিম্ব দেখা যায়। আবছায়া বিম্বটি সম্মুখের তল হইতে প্রতিফলনের দ্বারা এবং উজ্জ্বল বিম্বটি পশ্চাতের স্তর হইতে প্রতিফলনের দ্বারা উৎপন্ন হয়। উজ্জ্বলতর বিম্বটির পাশে, অনুজ্জ্বলটি ভাল দেখা যায় না বলিয়া কোনও অসুবিধা হয় না।

লম্ব-আপতন (Normal incidence): কোনও রশ্মি সমতল দর্পণে লম্বভাবে আপতিত হইলে উহা প্রতিফলিত হইয়া নিজের পথেই প্রত্যাবর্তন করে। ২২নং চিত্রে PM রশ্মিটি লম্বভাবে আপতিত হইয়াছে। ইহা প্রতিফলিত হইয়া MP পথে প্রত্যাবর্তন করিবে।

বিম্ব উৎপাদনকারী রশ্মি অঙ্কন: আমরা দেখিয়াছি কোনও বিন্দু বস্তু হইতে আলোকরশ্মি আসিয়া প্রতিফলিত হইবার পর কোনও বিন্দুতে মিলিত হইলে বা কোনও বিন্দু হইতে নির্গত হইতেছে মনে হইলে ঐ দ্বিতীয় বিন্দুতে বিম্ব উৎপন্ন হয়। এই সকল প্রতিফলিত রশ্মি আঁকিয়া বিম্বের অবস্থান নির্দেশ করা যায়। ইহাকে বিম্ব উৎপাদনকারী রশ্মি অঙ্কন বা রশ্মি অনুসরণ বলে।

মনে করা যক, MAB একটি দর্পণের ছেদ (section) এবং P উহার সম্মুখে একটি বিন্দু-বস্তু। এই বিন্দুর বিম্বের অবস্থান নির্ণয় করিতে হইলে ঐ বিন্দু হইতে যে কোনও দুইটি রশ্মি লইয়া উহাদের প্রতিফলিত রশ্মির পথ নির্ণয় করিতে হইবে। এই প্রতিফলিত রশ্মি দুইটি দর্পণের পশ্চাতে বর্ধিত করিলে যে বিন্দুতে মিলিত হইবে তাহাই বিম্ব।

২২নং চিত্র
বিম্ব উৎপাদনকারী রশ্মি অঙ্কন

P বিন্দু হইতে একটি রশ্মি PM লওয়া হইল। ইহা দর্পণের তলের উপর লম্বভাবে আপতিত। এইরূপ রশ্মি পূর্বপথে MP রেখায় প্রতিফলিত হইবে। অপর একটি রশ্মি PA অন্য কোনও কোণে আপতিত এবং A বিন্দুতে AN অভিলম্ব। এখন PAN আপতন কোণের সমান করিয়া NAC প্রতিফলন কোণ অঙ্কন করা হইল। সুতরাং AC প্রতিফলিত রশ্মি। MP ও AC প্রতিফলিত রশ্মি দুইটিকে দর্পণের পশ্চাতে বর্ধিত করায়* উহারা যেন P বিন্দুতে মিলিত হইল। এই p বিন্দুই P বিন্দুর বিম্ব।

এখন ∠PAN = ∠NAC

কিন্তু PM ও NA উভয়েই MAB-এর উপর লম্ব বলিয়া উহারা পরস্পর সমান্তরাল।

সুতরাং, ∠PAN = একান্তর ∠APM

এবং ∠NAC = অনুরূপ ∠ApM.

∴ ∠APM = ∠ApM.

এখন, APM এবং ApM ত্রিভুজদ্বয়ের মধ্যে

∠AMP = ∠AMp উভয়ই সমকোণ বলিয়া

∠APM = ∠ApM.

এবং AM সাধারণ বাহু ;

সুতরাং ত্রিভুজদ্বয় সর্বসম ; ∴ PM = pM.

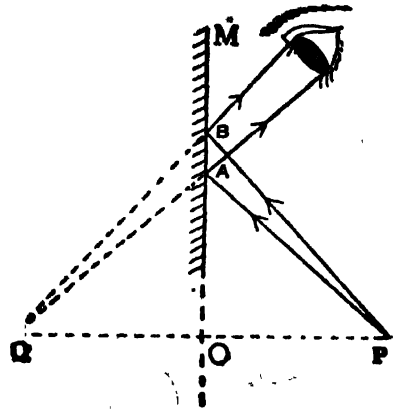
অর্থাৎ সমতল দর্পণের প্রতিফলন-তল হইতে বস্তু ও উহার বিম্ব সমদূরবর্তী।

বস্তু হইতে দুইটি মাত্র রশ্মি লইয়া উহাদের প্রতিফলিত রশ্মি দুইটির পথ নির্ণয় করিলে সেই প্রতিফলিত রশ্মিদ্বয়ের ছেদবিন্দুই প্রতিবিম্বের অবস্থান।

---

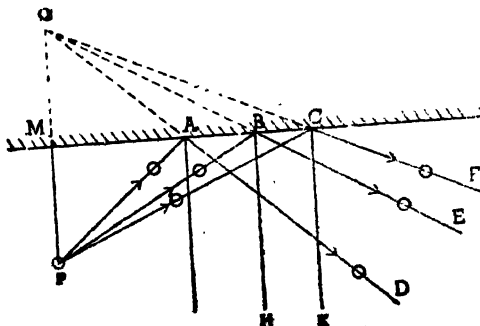
*বিম্বের অবস্থান নির্ণয়ের জন্য দর্পণের পশ্চাতে রশ্মির রেখাকে যদি বর্ধিত করিতে হয়, তাহা হইলে উহাদের ভগ্নরেখা (dotted line) অর্থাৎ টুকরা টুকরা রেখার দ্বারা আঁকিতে হয়। দর্পণের পশ্চাতে আলোকরশ্মি যাইতে পারে না। এইজন্য ইহাদের অসদ্‌রশ্মি বা অবাস্তব রশ্মি (Virtual rays) বলা হয়।

এখন অন্য যে কোনও রশ্মি লইলে দেখা যাইবে দর্পণে প্রতিফলিত হইবার পর তাহাও যেন ঐ বিন্দু হইতে বাহির হইয়া আসিতেছে। সুতরাং মাত্র দুইটি রশ্মি লইয়াই সঠিকভাবে বিম্বের অবস্থান নির্ণয় করা যায়।

২৩নং চিত্রে P লক্ষ্যবস্তুটি দর্পণের ঠিক সম্মুখে অবস্থিত নাই। অর্থাৎ P হইতে লম্ব টানিলে উহা দর্পণের উপর পড়ে না। এখানে PA, PB রশ্মি দুইটি আঁকিয়া উহাদের প্রতিফলিত রশ্মি দুইটির দ্বারা Q প্রতিবিম্বটি পাওয়া যাইবে। দর্পণের ছেদ MBA-এর বর্ধিতাংশ PQ-কে ঠিক লম্বভাবে সমদ্বিখণ্ডিত করিবে, অতএব লক্ষ্যবস্তু হইতে অঙ্কিত লম্ব দর্পণের উপর না পড়িলেও উহার প্রতিবিম্ব দর্পণের মধ্যে পাওয়া যাইবে। কেবল দর্পণের প্রতিফলন তলের বর্ধিতাংশের সম্মুখে বস্তুটির থাকা প্রয়োজন। অর্থাৎ ২৩নং চিত্রে MO রেখার ডান দিকে P বস্তুটির অবস্থিত হওয়া প্রয়োজন। এইজন্য দর্পণের এক প্রান্তের বাহির হইতে তির্যকভাবে চাহিলে অন্য প্রান্তের বাহিরে অবস্থিত বস্তুর প্রতিবিম্ব দর্পণের উপর দেখা যায়।

২৩নং চিত্র : দর্পণের প্রতিফলন

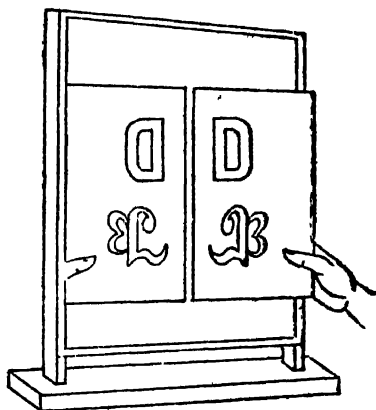
প্রতিফলনের নিয়মগুলির সত্যতা পরীক্ষা

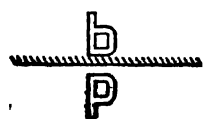
[দ্বিতীয় প্রণালী : পিনের সাহায্যে]

ড্রইং বোর্ডের উপর একখানি সাদা কাগজকে পিন দ্বারা আঁটিয়া কাগজের উপর একটি সরলরেখা বরাবর একখানি সমতল দর্পণ কাঠের

২৪নং চিত্র : পিনের সাহায্যে প্রতিফলনের নিয়মগুলির প্রমাণ

ফ্রেমের সাহায্যে খাড়াভাবে রাখা হইল। এখন দর্পণের সামনে (চিত্রের P বিন্দুতে) একটি পিন এবং দর্পণের কাছে আর একটি পিন পুঁতিয়া

দেওয়া হইল। এই দুইটি পিনের সংযোগকারী সরলরেখা PA একটি আপতিত রশ্মি নির্দেশ করিবে। দর্পণের ভিতর পিন দুইটির যে প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে তাহাদের সহিত এক সরলরেখায় আরও দুইটি পিন পুঁতিয়া দেওয়া হইল। মনে করা যাক, এই পিন দুইটির ফুটা যোগ করিলে AD রেখা পাওয়া যায়। তাহা হইলে AD রেখা PA রেখার প্রতিফলিত রশ্মি নির্দেশ করিবে। এইভাবে আরও কতকগুলি (PB, PC ইত্যাদি) রশ্মি লইয়া তাহাদের প্রতিফলিত রশ্মির পথ নির্ণয় করা হইল। এখন দর্পণের অবস্থান নির্দেশকারী রেখাটির উপর আপতন বিন্দুগুলিতে লম্ব আঁকিয়া প্রত্যেক ক্ষেত্রে আপতন কোণ এবং প্রতিফলন কোণ চাঁদার দ্বারা মাপিলে উহারা সমান হইবে। আপতিত রশ্মি এবং প্রতিফলিত রশ্মি এবং অভিলম্ব সবগুলিই কাগজের তলে অবস্থিত হওয়ায় প্রতিফলনের অপর নিয়মটিরও সত্যতা প্রমাণিত হইবে।

পার্শ্বীয় পরিবর্তন: সমতল দর্পণের সম্মুখে দাঁড়াইলে আমাদের ডান হাত প্রতিবিম্বের বাম হাত বলিয়া মনে হয়। ইহাকে পার্শ্বীয় পরিবর্তন (Lateral Inversion) বলে। বিস্তৃত আয়তনবিশিষ্ট বস্তুর বিভিন্ন অংশের বিম্ব ঐ অংশ হইতে দর্পণের উপর অঙ্কিত লম্বরেখার উপর দর্পণ হইতে সমান দূরে অবস্থিত। এইরূপ ক্ষেত্রে আমাদের ডান হাতের বিম্ব দর্পণের পশ্চাতে প্রতিবিম্বে আমাদের ডান দিকে হইবে, সুতরাং উহার বিম্বের বাম হাত বলিয়া মনে হইবে।

২৫নং চিত্র: পার্শ্বীয় পরিবর্তন

D অক্ষরটিকে একটি সরলরেখার ডান দিকে একটি অর্ধবৃত্তের সংযোগে উৎপন্ন বলা যায়। ঐরূপ একটি D অক্ষর আয়নার সম্মুখে রাখিলে উহার সরলরেখাটি দর্পণের নিকটে এবং অর্ধবৃত্তটির মধ্যভাগ দূরে অবস্থিত হইবে সুতরাং উহার প্রতিবিম্বেও সরলরেখাটি দর্পণের নিকটে এবং অর্ধবৃত্তটি দূরে থাকিবে। তাহার ফলে প্রতিবিম্ব একটি উল্টা D অক্ষরের মতো দেখাইবে।

b

P

২৬নং চিত্র: পার্শ্বীয় পরিবর্তন

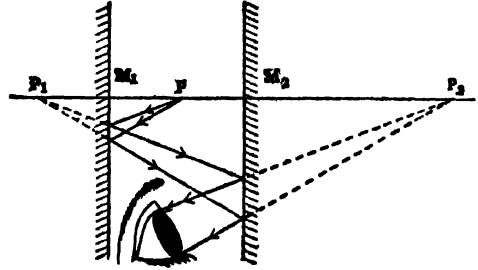
একটি P অক্ষরের উপরে দর্পণ রাখিলে একই কারণে উহার উপরের বৃত্তাকার রেখাদ্বারা বেষ্টিত অংশ নীচে এবং নীচের রেখাটি উপরে উঠিয়া প্রতিবিম্বের আকার 'b' এর মত হইবে।

দুইটি দর্পণের ক্রমিক প্রতিফলন

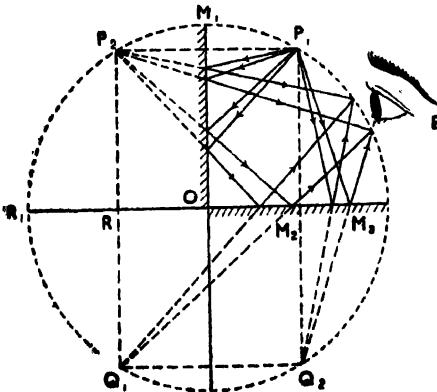
[Successive reflection at two mirrors]

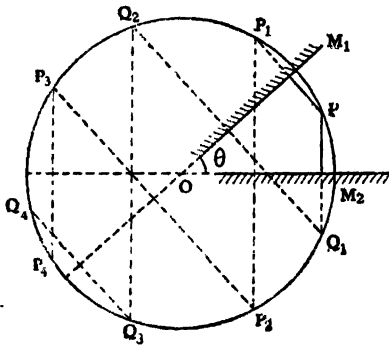
দুইটি সমান্তরাল দর্পণ: M_1 ও M_2 দুইখানি দর্পণ পরস্পর মুখোমুখী ও সমান্তরালভাবে আছে। P ইহাদের মধ্যে অবস্থিত একটি আলোকের উৎস।

P হইতে উভয় দর্পণের উপরে PM_1, PM_2 লম্ব অঙ্কন করা হইল। প্রতিবিম্ব উৎপাদনের নিয়ম অনুসারে এই লম্বরেখার উপরেই P উৎসের সবগুলি প্রতিবিম্ব অবস্থিত হইবে।

প্রথমে মনে করা যাক, P বিন্দু হইতে M_1 দর্পণের উপর একটি অপসারী কিরণ পড়িয়াছে। উহা প্রতিফলিত হইবে এবং M_2 M_1 লম্ব রেখার উপর $M_1P = M_1P_1$ হইলে, P_1 বিন্দুর উপর প্রথম বিম্ব উৎপন্ন হইবে। কিন্তু ঐ প্রতিফলিত কিরণ আবার M_2 দর্পণের উপর পড়িয়া প্রতিফলিত হইবে। এক্ষেত্রে P_1 অসদ্‌বিম্বটি M_2 দর্পণের নিকট বস্তুর (object-এর) মতো কাজ করিবে এবং M_1

২৭নং চিত্র : সমান্তরাল দর্পণ

M_2 রেখার বর্ধিতাংশে P_2 যদি এমন একটি বিন্দু হয় যে $P_2M_2 = P_1M_2$, তাহা হইলে P_2 বিন্দু P_1 এর বিম্ব হইবে। M_2 হইতে প্রতিফলিত অপসারী কিরণ আবার M_1 দর্পণের উপর পড়িবে এবং পুনর্বার M_1-এর পশ্চাতে আর একটি বিম্ব হইবে। এইরূপে দুইটি সমান্তরাল দর্পণের দ্বারা **অসংখ্য বিম্ব** উৎপন্ন হইবে। আবার M_2 দর্পণে P বিন্দুর প্রথম বিম্ব উৎপন্ন হইয়া তাহা হইতেও M_1M_2 রেখার উপর অসংখ্য বিম্ব উৎপন্ন হইবে। কিন্তু ক্রমশ বিম্বগুলির উজ্জ্বলতা হ্রাস পাইবে বলিয়া দূরের বিম্বগুলি স্পষ্ট দেখা যাইবে না।

সমকোণে আনত দুইটি দর্পণ : M_1; M_2 দুইটি সমকোণে আনত দর্পণের মাঝখানে P_1 একটি বস্তু। M_1-এর উপর লম্ব PM_1-কে বর্ধিত করিয়া উহার উপর P_2 বিন্দুতে প্রথম বিম্ব হইল যাহাতে $P_2M_1 = P_1M_1$ হয়। এখন P_2 আবার দ্বিতীয় দর্পণের কাছে বস্তুর ন্যায় কাজ করিবে এবং P_2 হইতে M_2-এর উপর লম্বরেখা P_2R-এর উপর Q_1 দ্বিতীয় বিম্ব হইবে যাহাতে $Q_1R = P_2R$ হয়। এখন Q_1 বিন্দু দুইটি দর্পণেরই প্রতিফলন তলের পশ্চাতে অবস্থিত। সুতরাং Q_1 দ্বারা আর বিম্ব গঠন হইবে না। কিন্তু M_2 দর্পণের দ্বারা অনুরূপভাবে Q_2 এবং Q_1 বিন্দুতে দুইটি বিম্ব গঠিত হইবে। অতএব মোট তিনটি বিম্ব গঠিত হইবে।

২৮নং চিত্র : সমকোণে আনত দুইটি দর্পণ

যে কোনও কোণে আনত দুইটি দর্পণ : মনে করা যাক, M_1O এবং M_2O দুইটি দর্পণের ছেদ। উহাদের আনতি (inclination) $\angle M_1OM_2=\theta$ P উহাদের মধ্যস্থিত একটি বস্তু। প্রথমে M_1 দর্পণ হইতে আরম্ভ করা যাক। PP_1 রেখাকে M_1 দর্পণ লম্ব দ্বিখণ্ডিত করিলে P_1 প্রথম বিম্ব; তারপর M_2 দর্পণের কাছে P_1 বস্তুর ন্যায় কাজ করিবে এবং উহার P_2 বিম্ব গঠিত হইবে। আবার M_1-এর দ্বারা P_2 বিম্বের P_3 বিম্ব এবং M_2 দ্বারা P_3-এর P_4 বিম্ব গঠিত হইবে। এইরূপে যতক্ষণ না P_4-এর মতো দুইটি দর্পণেরই পশ্চাতে কোনও বিম্ব গঠিত হইবে ততক্ষণ ক্রমানুসারে বিম্ব গঠন চলিবে। তারপর আবার M_2 দর্পণে P বস্তুটি হইতে আলোকের কিরণ প্রথম প্রতিফলন হইয়া Q_1, Q_2 প্রভৃতি আরও কতকগুলি বিম্ব উৎপাদিত হইবে।

২৯নং চিত্র : যে কোনও কোণে আনত দুইটি দর্পণ

বিম্বগুলির অবস্থান : জ্যামিতির সাহায্যে সহজেই প্রমাণ করা যায় $P_1, P_2, P_3 \cdots, Q_1, Q_2, Q_3 \cdots\cdots$ প্রভৃতি প্রত্যেকটি বিম্বের অবস্থান O বিন্দু হইতে সমদূরবর্তী এবং ঐ দূরত্ব $=OP$।

অতএব বস্তু ও উহার বিম্বগুলি প্রত্যেকে O কেন্দ্র এবং OP **ব্যাসার্ধবিশিষ্ট বৃত্তের পরিধির উপর অবস্থিত হইবে।**

জ্যামিতির সাহায্যে আরও প্রমাণ করা যাইতে পারে, এইরূপ ক্ষেত্রে মোট বিম্বের সংখ্যা $\frac{360°}{\theta}-1$ হইয়া থাকে। অর্থাৎ বিম্বের সংখ্যা n হইলে

$$n=\frac{360°}{\theta°}-1$$

উদাহরণ 1 : দুইটি দর্পণের আনতি কোণ 30° হইলে উহাদের মধ্যে অবস্থিত কোণও বস্তুর কতগুলি বিম্ব উৎপাদিত হইবে ?

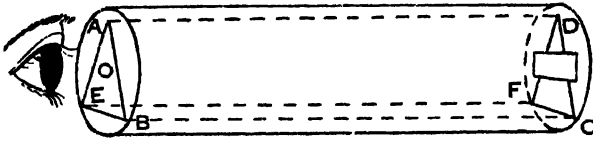
এখানে, $n=\frac{360°}{30°}-1=12-1=\mathbf{11}$

উদাহরণ 2 : সমকোণে অবস্থিত দুইটি দর্পণের মধ্যস্থলে অবস্থিত কোনও বস্তুর কতগুলি বিম্ব গঠিত হইবে ?

এখানে, $\theta=90°$; $\therefore n=\frac{360°}{90°}-1=\mathbf{3}$

গোলোক ধাঁধা

[Kaleidoscope]

ইহা একটি খেলনা। আনত দর্পণের ক্রমিক প্রতিফলনকে কাজে লাগাইয়া ইহা তৈয়ারি করা হয়। তিনখানি সরু ও লম্বা আয়তকার কাচের পাত বা দর্পণকে একটি পুরু কাগজের চোঙের মধ্যে এমনভাবে রাখা হয় যে উহারা 60 ডিগ্রীর কাছাকাছি কোণে পরস্পর আনত থাকে। চোঙটির একপ্রান্ত ঘষা কাচের দ্বারা এবং অপর প্রান্ত স্বচ্ছ কাচ দ্বারা বন্ধ করা থাকে। ঘষা কাচের উপর কয়েক টুকরা বিভিন্ন রঙের কাচের টুকরা ফেলিয়া রাখা হয়। রঙিন কাচের টুকরাগুলি প্রতি জোড়া দর্পণে ক্রমিক প্রতিফলনের

৩০নং চিত্র : গোলোক ধাঁধা

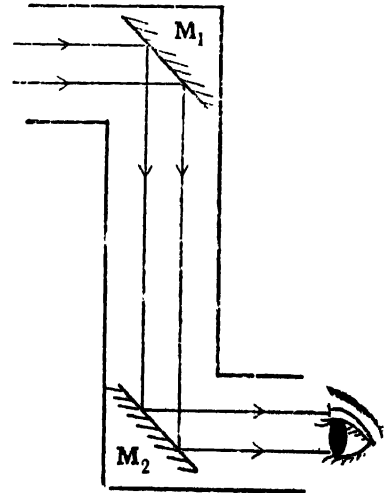
দ্বারা বৃত্তাকারে অনেকগুলি প্রতিবিম্ব গঠন করে। স্বচ্ছ কাচের প্রান্ত দিয়া দেখিলে ঐ প্রতিবিম্বগুলির দ্বারা গঠিত সুন্দর ও বিচিত্র গঠনের একটি রঙিন নকশা (Pattern) দেখা যায়। চোঙটি একটু নাড়িলে কাচের টুকরাগুলি অন্য এক-ভাবে পরস্পর সজ্জিত হয় এবং তাহাদের প্রতিবিম্ব সহ আর একটি নূতন নকশা গঠিত হয়। এইরূপে অসংখ্য রকমের নকশা গঠন করা যায়।

সাধারণ পেরিস্কোপ

[Simple Periscope]

একটি লম্বা ও আয়তাকার কাঠের বাক্সের দুই প্রান্তে দুইখানি সমতল দর্পণ সংলগ্ন করিয়া এই যন্ত্রটি নির্মিত হয়। সমতল দর্পণ দুইখানি পরস্পরের মুখোমুখি ও সমান্তরাল কিন্তু বাক্সটির দৈর্ঘ্যের সহিত 45° কোণে আনতভাবে অবস্থিত হয়। যন্ত্রটি খাড়াভাবে ধরিলে উপরের দর্পণে কোনও বস্তু হইতে আলোকরশ্মি পড়িয়া প্রতিফলিত হইয়া নীচের দর্পণটিতে আসিয়া পড়ে এবং আবার প্রতিফলিত হইয়া দর্শকের চোখে প্রবেশ করে। তাহার ফলে বস্তুটির একটি বিম্ব

৩১নং চিত্র : সাধারণ পেরিস্কোপ

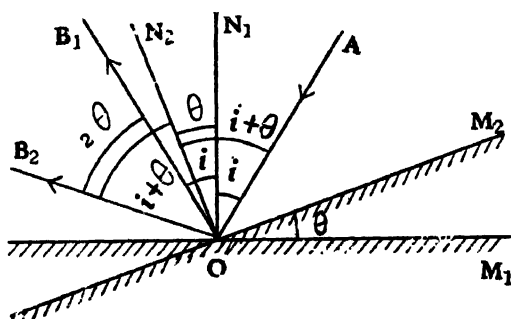
দেখা যায় লক্ষ্যবস্তু ও দর্শকের মাঝখানে কোনও উচ্চ প্রতিবন্ধক বা প্রাচীর

থাকিলেও সাধারণ পেরিস্কোপের সাহায্যে লক্ষ্যবস্তুকে দেখা যায়। পেরিস্কোপকে এমনভাবে ধরিয়া রাখিতে হয় যাহাতে উহার উপরের দর্পণখানি প্রতিবন্ধকের উপর থাকে। তাহা হইলে উহার উপর লক্ষ্যবস্তু হইতে আলোকরশ্মি পড়িয়া প্রতিফলিত হইতে পারে। কলিকাতা ময়দানে ফুটবল খেলার সময় মাঠের বাহিরে এই যন্ত্রের ব্যবহার নিশ্চয়ই তোমরা অনেকে দেখিয়াছ।

দর্পণকে ঘুরাইবার ফলে প্রতিফলিত রশ্মির ঘূর্ণন: মনে করা যাক, M_1O একখানি দর্পণের অবস্থান এবং AO উহার উপর একটি আপতিত রশ্মি, O বিন্দুতে ON_1 অভিলম্ব এবং OB_1 প্রতিফলিত রশ্মি।

$$\therefore \angle AON_1 = \text{আপতন কোণ} = i$$
$$\angle B_1ON_1 = \text{প্রতিফলন কোণ} = i$$

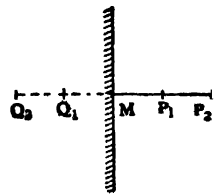
[প্রতিফলনের নিয়ম অনুসারে]

আলোকরশ্মি AOকে স্থির রাখিয়া দর্পণটিকে θ কোণের পরিমাণ ঘুরান হইল। মনে করা যাক, এখন দর্পণের অবস্থান $= M_2O$। O বিন্দুতে অভিলম্বও ঠিক θ কোণের পরিমাণ ঘুরিয়া ON_2 অবস্থানে থাকিবে অর্থাৎ $\angle N_1ON_2 = \theta$.

$$\text{এখন, আপতন কোণ} = \angle AON_2 = i+\theta$$
$$\text{সুতরাং, প্রতিফলন কোণ } \angle N_2OB_2 = i+\theta$$
$$\therefore \angle AOB_2 = \angle AON_2 + \angle N_2OB_2 = 2(i+\theta)$$
$$\text{এবং, } \angle AOB_1 = \angle AON_1 + \angle N_1OB_1 = 2i$$
$$\therefore \angle B_1OB_2 = \angle AOB_2 - \angle AOB_1$$
$$= 2(i+\theta) - 2i = 2\theta$$

৩২নং চিত্র : দর্পণের ঘূর্ণন

কিন্তু, $\angle B_1OB_2$ = প্রতিফলিত রশ্মির ঘূর্ণনের পরিমাণ।

অতএব আপতিত রশ্মিকে স্থির রাখিয়া দর্পণকে θ কোণে ঘুরাইলে প্রতিফলিত রশ্মি 2θ পরিমাণ ঘুরিয়া যায়।

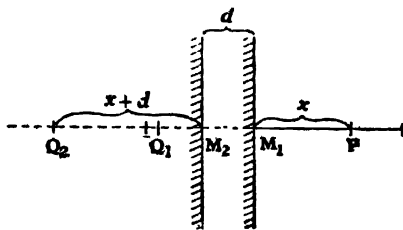
স্থির দর্পণ ও গতিশীল বস্তু : মনে করা যাক, M একখানি স্থির দর্পণ এবং উহার সম্মুখে P_1 একটি বিন্দু বস্তুর অবস্থান। এখন P_1M লম্ব রেখার বর্ধিতাংশের উপর $MQ_1=MP_1$ হইলে Q_1 বিন্দু P_1 বস্তুর বিম্বের অবস্থান হইবে। আবার মনে করা যাক কিছুক্ষণ পরে MP_1 রেখার উপর P_2 বস্তুর অবস্থান এবং Q_2 উহার বিম্বের অবস্থান হইল। কিন্তু সর্বদা বস্তুর দূরত্ব=বিম্বের দূরত্ব। অতএব $MP_2=MQ_2$;

৩৩নং চিত্র : স্থির দর্পণ ও গতিশীল বস্তু

$$\therefore \quad Q_1Q_2=MQ_2-MQ_1=MP_2-MP_1=P_1P_2$$

অর্থাৎ বিম্বের সরণ=বস্তুর সরণ।

আবার বস্তুর এই সরণ যতক্ষণে হইল, উহার বিম্বের সরণও ঠিক ততক্ষণে হইল। অতএব :

বিম্বের বেগ = বস্তুর বেগ

৩৪নং চিত্র : গতিশীল দর্পণ ও স্থির বস্তু

স্থির বস্তু ও গতিশীল দর্পণ : মনে করা যাক, বস্তু P বিন্দুতে এবং দর্পণটি প্রথমে M_1 অবস্থানে আছে। এই অবস্থায় যদি প্রতিবিম্বের অবস্থান Q_1 হয়, তাহা হইলে $M_1P=M_1Q_1$ হইবে। দর্পণটি স্থান পরিবর্তন করিয়া M_2 অবস্থানে গেলে মনে করা যাক, বিম্বের অবস্থান Q_2 হইল। তাহা হইলে, $M_2Q_2=M_2P$;

$\therefore \quad PQ_2=PM_2+M_2Q_2=PM_2+PM_2 \quad =2PM_2$

এবং, $PQ_1=PM_1+M_1Q_1=PM_1+PM_1 \quad =2PM_1$

$\therefore \; Q_1Q_2=PQ_2-PQ_1 \quad =2PM_2-2PM_1$

$=2\,(PM_2-PM_1)=2M_1M_2$

কিন্তু, M_1M_2=দর্পণের সরণ

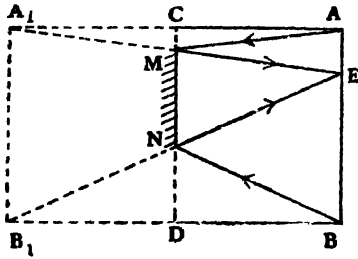
এবং $Q_1\ Q_2$=বিম্বের সরণ

অতএব বিম্বের সরণ=2 × দর্পণের সরণ।

আবার দর্পণ যতক্ষণে M_1M_2 দূরত্ব চলিয়াছে, বিম্ব ঠিক ততক্ষণে Q_1Q_2 দূরত্ব চলিয়াছে। অতএব, **বিম্বের বেগ=2 × দর্পণের বেগ।**

দেহের সম্পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিবার উপযুক্ত ক্ষুদ্রতম দর্পণ

মনে করা যাক, AB মানুষটির অবস্থান ; A মাথার, B পা-এর এবং E তাহার চক্ষুর অবস্থান। দর্পণের দ্বারা তাহার সমস্ত দেহের প্রতিবিম্ব দেখিতে হইলে

A এবং B হইতে অপসৃত হইয়া দর্পণে প্রতিফলিত কিরণ E বিন্দুতে আসা প্রয়োজন। মনে করা যক্, দর্পণের পশ্চাতে A_1B_1 মানুষটির প্রতিবিম্ব এবং CD দর্পণের ছেদের (Section) ভিতর দিয়া অঙ্কিত সরলরেখা। A_1 ও E B_1 E যোগ করা হইল এবং ইহারা CD-কে যথাক্রমে M ও N বিন্দুতে ছেদ করিল। এখন ME রেখার উপর A বিন্দুর প্রতিবিম্ব A_1-কে দেখা যাইবে, সুতরাং AM রশ্মির প্রতিফলিত রশ্মি ME হইবে। A বিন্দু হইতে M-এর নীচে যে সকল রশ্মি আপতিত হইবে তাহারা প্রতিফলিত হইয়া E বিন্দুর নীচে পৌঁছিবে। সুতরাং তাহাদের

৩৫নং চিত্র: গতিশীল দর্পণ ও স্থির বস্তু

দ্বারা গঠিত A বিন্দুর বিম্ব চোখে দেখা যাইবে না। এইরূপে দেখান যায় N বিন্দুর উপরের অংশে B বিন্দু হইতে আপতিত রশ্মি দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া E বিন্দুর উপরে চলিয়া যাইবে, অতএব উহাদের দ্বারা গঠিত B বিন্দুর বিম্বও দেখা যাইবে না। অর্থাৎ অন্তত M হইতে N পর্যন্ত দর্পণের দৈর্ঘ্য হইলে সমগ্র AB বস্তুর প্রতিবিম্ব A_1B_1 কে E বিন্দুতে অবস্থিত চক্ষু দ্বারা দেখা যাইবে।

এখন, $A_1C = AC$ [∴ বিম্বের দূরত্ব = বস্তুর দূরত্ব]

এবং, MC ও AE সমান্তরাল, [∴ উভয়েই উর্ধ্বাধ (vertical)]

অর্থাৎ A_1AE ত্রিভুজে A_1A বাহুর মধ্যবিন্দু C হইতে CD রেখা AE বাহুর সমান্তরাল ∴ M বিন্দু A_1E, বাহুর মধ্যবিন্দু

আবার EA_1B_1 ত্রিভুজে M বিন্দু EA_1 বাহুর মধ্যবিন্দু [প্রমাণিত]

এবং MN রেখা A_1B_1 বাহুর সহিত সমান্তরাল অতএব N, EB_1 বাহুর মধ্যবিন্দু।

$$\therefore MN = \tfrac{1}{2}A_1B_1$$

অর্থাৎ, $MN = \frac{1}{2}AB$, [কারণ, $A_1B_1 = AB$]

অতএব দর্পণের দৈর্ঘ্য ব্যক্তির দৈর্ঘ্যের অর্ধেক।

সারাংশ

প্রতিফলন: কোনও তলে প্রতিহত হইয়া আলোকরশ্মির ফিরিয়া আসাকে প্রতিফলন বলে। আলোকরশ্মি যখন এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমের বিভেদ তলে (Surface of Separation) পড়ে তখনই প্রতিফলন হয় এবং আলোকরশ্মি প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। আলোকের কিরণের ক্ষেত্রে প্রতিফলন **সুষম** (Regular) অথবা **অসম** (Irregular) হইতে পারে। তল যথেষ্ট মসৃণ হইলে প্রতিফলন সুষম হয় এবং তল অমসৃণ হইলে প্রতিফলন অসম হয়। আলোকের ক্ষেত্রে কাচ, মসৃণ ধাতুর পাত প্রভৃতি মসৃণ তলের মতো কাজ করে।

প্রতিফলনের নিয়ম (Laws of Reflection) **: 1. আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি এবং আপতন বিন্দুতে প্রতিফলন তলের উপর অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থিত 2. প্রতিফলন কোণ= আপতন কোণ।** হার্টল-এর আলোকচক্র (Hartle's Optical Disc) অথবা সমতল দর্পণ ও পিন (Plane Mirror and Pins)-এর সাহায্যে প্রতিফলনের নিয়মগুলিকে প্রমাণ করা যায়।

বিম্ব বা **প্রতিবিম্ব :** কোনও বিন্দু হইতে নির্গত হইয়া অপসারী কিরণ দর্পণে বা অন্য কোনও ভাবে প্রতিফলিত হইবার পর যদি অন্য কোনও বিন্দুতে মিলিত হয় (অথবা কোনও বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া বোধ হয়) তাহা হইলে পরবর্তী বিন্দুকে পূর্ববর্তী বিন্দুর বিম্ব (Image) বলা হয়। প্রতিফলনের পর রশ্মিগুচ্ছ কোনও বিন্দুতে বাস্তবিক মিলিত হইলে ঐ বিন্দুকে সদ্-বিম্ব (Real Image) বলে। সদ্-বিম্বকে কোনও পর্দার উপর ধরা যাইতে পারে, কারণ ইহার বাস্তব অস্তিত্ব আছে। কিন্তু প্রতিফলনের পর রশ্মিগুচ্ছ যদি কোনও বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে মনে হয় তাহা হইলে বিম্বটিকে অসদ্-বিম্ব (Virtual Image) বলে। অসদ্-বিম্বের কোনও বাস্তব অস্তিত্ব নাই, সেইজন্য ইহাকে পর্দায় ধরা যায় না।

নির্দিষ্ট আয়তনবিশিষ্ট বস্তুকে কতকগুলি বিন্দুর সমষ্টি মনে করা যাইতে পারে। প্রত্যেকটি বিন্দুর একটি করিয়া বিন্দু-বিম্ব উৎপন্ন হইয়া তাহাদের সমন্বয়ে বস্তু-বিম্বটি গঠিত হয়।

সমতল দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত কোনও বিন্দুর বিম্ব ঐ বস্তুর অবস্থান হইতে দর্পণের উপর অঙ্কিত লম্বরেখার উপর দর্পণের পশ্চাতে অবস্থিত এবং বস্তু ও উহার বিম্ব উভয়ই দর্পণের প্রতিফলন তল হইতে সমদূরবর্তী।

দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পর যে ভাবে আনত হয় তাহার উপর উহাদের দ্বারা উৎপন্ন বিম্বসমূহের সংখ্যা ও অবস্থান নির্ভর করে। দুইটি সমান্তরাল দর্পণের মধ্যে অবস্থিত বস্তুর অসংখ্য বিম্ব উৎপন্ন হয় এবং বিম্বগুলি বস্তু-বিন্দুটি হইতে উভয় দর্পণের উপর আপতিত লম্ব রেখাটির উপর অবস্থিত হয়। যে কোনও 'θ' ডিগ্রী কোণে আনত দুইটি সমতল দর্পণের মধ্যে অবস্থিত বস্তুর বিম্বসংখ্যা $n=\frac{360}{\theta}-1$ সূত্রটি হইতে পাওয়া যায়।

দর্পণ দুইটি সমকোণে অবস্থিত হইলে $\theta=90^\circ$; সুতরাং, $n=\frac{360}{90}-1=3$

আপতিত রশ্মিকে স্থির রাখিয়া সমতল দর্পণকে θ° পরিমাণ ঘুরাইলে প্রতিফলিত রশ্মি $2\theta^\circ$ পরিমাণ ঘুরিয়া যায়।

দর্পণকে স্থির রাখিয়া বস্তুকে যে বেগে অপসারিত করা যায়, উহার বিম্বও তাহার সহিত সমান বেগে অপসারিত হয়। কিন্তু বস্তুকে স্থির রাখিয়া দর্পণকে যত বেগে অপসারিত করা যায়, উহার বিম্ব তাহার দ্বিগুণ বেগে অপসারিত হয়।

কোনও ব্যক্তির আপাদমস্তক সম্পূর্ণ প্রতিবিম্ব সমতল দর্পণে দেখিতে হইলে ঐ দর্পণের ক্ষুদ্রতম উচ্চতা ব্যক্তির দৈর্ঘ্যের ঠিক অর্ধেক হওয়া প্রয়োজন।

অনুশীলনী

1. *What is reflection of light? What are regular and irregular reflections? What kinds of reflection makes objects visible to us? What kind of reflection makes an image by a plane mirror visible?*

2. *Explain with diagrams the following terms: surface of separation, point of incidence, incident ray, reflected ray, normal, angle of incidence, angle of reflection.*

3. *State the laws of reflection and explain them with diagrams. Describe Hartle's Optical Disc method of verifying these laws.*

4. *What is an image? What are real and virtual images?*

5. *Why are two images sometimes found to be formed by a glass plate? How does reflection take place at an ordinary plane mirror?*

6. *Trace rays showing formation of images by a plane mirror. Prove from your figure that the straight line joining the object and the image is bisected at right angles by the reflecting surface of a plane mirror.*

7. *Describe the pin method for the verification of the laws of reflection.*

8. *Explain with a diagram what lateral inversion is and how it occurs.*

9. *Explain with a diagram how images are formed by two plane mirrors placed face to face and parallel to each other.*

10. *How many images are formed by two perpendicular mirrors when an object is placed in between them. Explain with a diagram.*

11. *How many images of an object will be formed by two mirrors inclined at any angle? How will the images be situated? Describe any instrument or toy you know which has been constructed on this principle.*

12. *Prove that when keeping the incident ray fixed the plane mirror is rotated through an angle θ the reflected ray is turned through 2θ.*

13. *State and prove how the image changes its position, when (i) keeping the plane mirror fixed the object is moved and (ii) keeping the object fixed the plane mirror is moved.*

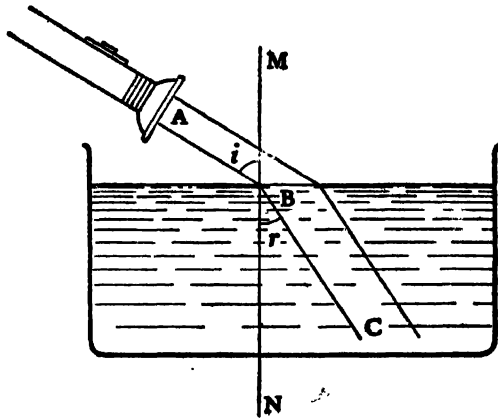
14. *What should be the least height of a plane mirror which will form a full size image of your body? Give a geometrical proof of your statement.*

তৃতীয় অধ্যায়

আলোকের প্রতিসরণ

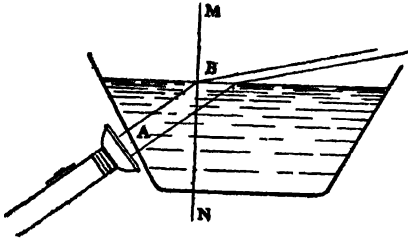
[Refraction of Light

প্রতিসরণ কি ?

একটি পরীক্ষার দ্বারা প্রতিসরণ সহজে বুঝা যাইবে। একটি কাচের পাত্র রঙিন জল দ্বারা পূর্ণ করা হইল। এখন ঘর অন্ধকার করিয়া একটি ছোট টর্চ হইতে আলোকরশ্মি ঐ জলের উপর ফেলা হইল। ঘরের বায়ুতে ভাসমান ধূলিকণা দ্বারা AB (৩৬ নং চিত্র) কিরণটি দেখা যাইবে। যদি ইহাতে কিরণটি ভাল করিয়া দৃশ্য না হয় তাহা হইলে কিছু খড়ির গুঁড়া উড়াইয়া দিলে উহার কণাগুলি বায়ুতে ভাসিয়া কিরণটিকে দৃশ্যমান করিবে। দেখা যাইবে B বিন্দুতে যেখানে কিরণটি জলের উপরিতল স্পর্শ করিয়াছে ঠিক সেইখানে হঠাৎ বাঁকিয়া গিয়া উহা জলে প্রবেশ করিয়াছে এবং জলের মধ্যে আবার সরল-রেখায় গমন করিয়াছে। **এইরূপ দুইটি মাধ্যমের বিভেদতলে আলোক-রশ্মির দিকপরিবর্তন করাকে আলোকের প্রতিসরণ (Refraction) বলে।**

৩৬নং চিত্র : আলোকের প্রতিসরণ

AB কিরণটিকে খুব সূক্ষ্ম করিয়া লইলে উহাকে একটি রশ্মি কল্পনা করা যাইতে পারে। সুতরাং AB আপতিত রশ্মি ও B আপতন বিন্দু। B বিন্দুতে জলের উপরিতলের সহিত MN রেখা লম্ব হইলে উহা অভিলম্ব হইল। জলের ভিতরে রশ্মিটির পথ BC কে **প্রতিসৃত রশ্মি** (Refracted ray) বলা হয়। আপতিত রশ্মির সহিত অভিলম্বের কোণকে **আপতন কোণ** (Angle of incidence) এবং প্রতিসৃত রশ্মির সহিত অভিলম্বের কোণকে **প্রতিসরণ কোণ** (Angle of refraction) বলে। সুতরাং ৩৬নং চিত্রে ∠ABM (বা i) আপতন কোণ এবং ∠CBN (বা r) প্রতিসরণ কোণ।

লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, ∠ABM হইতে ∠CBN ক্ষুদ্রতর। টর্চটিকে ঘুরাইয়া আপতন কোণটিকে পরিবর্তিত করিলে প্রতিসরণ কোণও তাহার

সহিত পরিবর্তিত হইবে, কিন্তু সর্বদাই আপতন কোণ অপেক্ষা প্রতিসরণ কোণটি ক্ষুদ্রতর থাকিবে।

৩৭নং চিত্র : গুরু মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রতিসরণ

এখন যদি টর্চের আলোক কাচের পাত্রের পার্শ্বদেশে এমন ভাবে ফেলা হয় যে জলের ভিতর দিয়া আলোকের কিরণ জল ও বায়ুর বিভেদতলে আপতিত হয়। তাহা হইলে দেখা যাইবে প্রতিসৃত আলোকের কিরণ MN অভিলম্ব হইতে দূরে বাঁকিয়া গিয়াছে। অর্থাৎ এক্ষেত্রে আপতন কোণ ∠ABN আপেক্ষা প্রতিসরণ কোণ ∠CBM বৃহত্তর।

উপরে বর্ণিত পরীক্ষায় বায়ুকে **লঘু মাধ্যম** ও জলকে **গুরুমাধ্যম** বলা যাইতে পারে।* অতএব পূর্বের পরীক্ষা হইতে এইরূপ সিদ্ধান্ত করা যাইতে পারে :

1. মাধ্যমের পরিবর্তন হইলে দুইটি মাধ্যমের বিভেদতলে আলোকরশ্মি দিক-পরিবর্তন করে।

2 লঘু মাধ্যম হইতে গুরু মাধ্যমে প্রবেশ করিবার সময়ে আলোকরশ্মি অভিলম্বের নিকটে সরিয়া আসে অর্থাৎ আপতন কোণ অপেক্ষা প্রতিসরণ কোণ ক্ষুদ্রতর হয়।

3. গুরু মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রবেশ করিবার সময়ে আলোকরশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যায় অর্থাৎ আপতন কোণ আপেক্ষা প্রতিসরণ কোণ বৃহত্তব হয়।

দ্বিতীয় ও তৃতীয় সিদ্ধান্তকে একত্রে এইভাবেও বলা যায় : আলোকরশ্মি যখন এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে প্রবেশ করে তখন অভিলম্বের সহিত লঘুমাধ্যমের কোণ সর্বদা অভিলম্বের সহিত গুরু মাধ্যমের কোণ অপেক্ষা বৃহত্তর হয়।

প্রতিসরণের সূত্রদ্বয় (Laws of Refraction) : আলোকের প্রতিসরণ সর্বদা নিম্নলিখিত দুইটি সূত্র অনুসরণ করিয়া হয় :

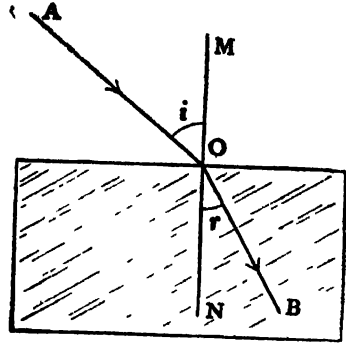
প্রথম সূত্র : আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে বিভেদতলের উপর অভিলম্ব এবং প্রতিসৃত রশ্মি সর্বদা একই সমতলে অবস্থিত হয়।

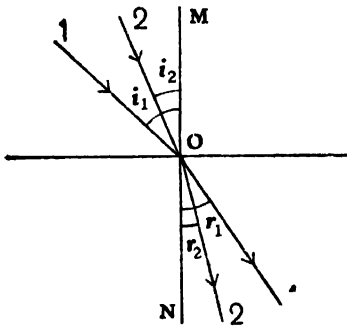
দ্বিতীয় সূত্র : দুইটি নির্দিষ্ট মাধ্যমের ভিতর দিয়া একটি নির্দিষ্ট রঙের আলোকরশ্মির প্রতিসরণ হইলে সর্বদা আপতন কোণের

* যদিও জলের ঘনত্ব বায়ু অপেক্ষা বেশী, এবং সাধারণত যাহার ঘনত্ব বেশী তাহাই গুরুমাধ্যম কিন্তু এই নিয়ম সর্বদা প্রয়োজ্য নয়।

সাইন (sine) ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত একটি ধ্রুবক হয়। প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্রটিকে স্নেলের সূত্র (Snell's Law) বলা হয়।

৬৮নং চিত্র : আলোকের প্রতিসরণ

মনে করা যাক, AO রশ্মিটি O বিন্দুতে দুইটি মাধ্যমের বিভেদতলে আপতিত হইয়া OB রেখায় প্রতিসৃত হইয়াছে। O বিন্দুতে MON অভিলম্ব। AO এবং MON রেখা দুইটি যে সমতলে অবস্থিত হইবে, প্রতিসৃত রশ্মি OB-ও সেই সমতলে অবস্থিত হইবে। OM-কে অক্ষ ধরিয়া AO আপতিত রশ্মিকে যদি আবর্তিত করা যায় তাহা হইলে OB প্রতিসৃত রশ্মিও কাচের ভিতরে এমন ভাবে আবর্তিত হইবে যে সর্বদাই AO BO এবং MN রেখা তিনটি একই সমতলে অবস্থিত হইবে। ইহার প্রতিসরণের প্রথম সূত্র।

৬৯নং চিত্র : আপতন ও প্রতিসরণ কোণ

আপতন কোণের সহিত প্রতিসরণ কোণও পরিবর্তিত হয়, ইহা বলা হ যাছে। মনে করা যাক, i_1 আপতন কোণ হইলে প্রতিসরণ কোণ r_1 এবং i_2 আপতন কোণ হইলে প্রতিসরণ কোণ r_2। এখন কোণগুলির পরিমাপ করিয়া ত্রিকোণমিতি পুস্তক হইতে উহাদের সাইনের অনুপাতের মান লইলে দেখা যাইবে :

$$\frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$$

এইরূপে যদি i_3 i_4 প্রভৃতি আরও আপতন কোণ এবং r_3, r_4 যথাক্রমে উহাদের প্রতিসরণ কোণ হয় তাহা হইলেও দেখা যাইবে :

$$\frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{\sin i_2}{\sin r_2} = \frac{\sin i_3}{\sin r_3} = \frac{\sin i_4}{\sin r_4} = \text{ইত্যাদি।}$$

অর্থাৎ, সর্বদা $\frac{\sin i}{\sin r}$ অনুপাতটি একটি ধ্রুবক।

অবশ্য যতক্ষণ দুইটি মাধ্যম অপরিবর্তিত থাকিবে ততক্ষণই অনুপাতটির মান নির্দিষ্ট থাকিবে। মাধ্যম দুইটি বা উহাদের যে কোনও একটির পরিবর্তন হইলে অনুপাতের মানও পরিবর্তিত হইবে। আলোকের রঙের উপরও ইহার মান নির্ভর করে। অর্থাৎ দু'টি নির্দিষ্ট মাধ্যম লইলে লাল আলোকের ক্ষেত্রে অনুপাতটির যে মান হইবে তাহা হইতে হলদে আলোকের ক্ষেত্রে উহার মান সামান্য পরিবর্তিত হইবে।

প্রতিসরাঙ্ক (Refractive Index) **:** দুইটি মাধ্যমের প্রথমটি যদি বায়ু হয় (*) তাহা হইলে দ্বিতীয় সূত্রে উল্লিখিত $\frac{\sin i}{\sin r}$ অনুপাতটিকে দ্বিতীয় মধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক (Refractive Index) বলে। যেমন দ্বিতীয় মাধ্যমটি জল হইলে উহা জলের, অথবা কাচ হইলে কাচের প্রতিসরাঙ্ক হইবে। প্রতিসরাঙ্ককে সাধারণত গ্রীক অক্ষর 'μ' (মিউ) দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

উদাহরণ : একটি আলোকরশ্মির বাতাস হইতে কাচে 50° কোণে আপতিত হইয়া কাচের মধ্যে 30° কোণে প্রতিসৃত হইল। কাচের প্রতিসরাঙ্ক কত ?

এখানে, আপতন কোণ $i=50^\circ$ এবং প্রতিসরণ কোণ $r=30^\circ$

সুতরাং, প্রতিসরাঙ্ক $=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\sin 50^\circ}{\sin 30^\circ}$

ত্রিকোণমিতির সাইন-তালিকা (Sine Table) হইতে sin 50°-র মান ·7660 এবং sin 30°-র মান ·5 পাওয়া যাইবে।

সুতরাং, নির্ণেয় প্রতিসরাঙ্ক বা $\mu=\frac{\sin 50^\circ}{\sin 30^\circ}=\frac{\cdot 7660}{\cdot 5}=1{\cdot}532$

কোনও মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক উহার একটি বৈশিষ্ট্য-জ্ঞাপক সংখ্যা এবং ঐ মাধ্যমের ক্ষেত্রে উহার মান একটি ধ্রুবক। প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্রের ইহাই বক্তব্য। অর্থাৎ জলের প্রতিসরাঙ্ক যদি 1·33 হয়, তাহা হইলে যে কোনও ক্ষেত্রে এবং যে কোনও কোণে বায়ু জলের ভিতরে আলোকরশ্মি প্রতিসৃত হউক না কেন, সর্বদাই প্রতিসরাঙ্ক 1·33 হইবে। অবশ্য পূর্বে বলা হইয়াছে, আলোক-রশ্মির রঙের সহিত এই প্রতিসরাঙ্কের মান সামান্য পরিবর্তিত হয়। কোনও মাধ্যমে প্রতিসরণ যত বেশী হইবে, অর্থাৎ প্রতিসৃত রশ্মি যত বেশী বাঁকিয়া যাইবে উহার প্রতিসরাঙ্কও তত বেশী হইবে। কারণ, আপতন কোণ অপরিবর্তিত থাকিয়া প্রতিসরণ কোণ r যত ছোট হইবে, $\frac{\sin i}{\sin r}$ এই অনুপাতের লবের তুলনায় হর তত ছোট হইবে এবং অনুপাতটির মানও তত বড় হইবে। অতএব যদি বলা যায় কাচ ও জলের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·53 এবং 1·33, তাহা হইলে দুইটি আলোকরশ্মি বায়ু হইতে যথাক্রমে কাচের এবং জলের বিভেদতলে একই কোণে আপতিত হইলে কাচের মধ্যে প্রতিসরণ কোণ জলের মধ্যে প্রতিসরণ কোণ অপেক্ষা ছোট হইবে। অর্থাৎ কাচের মধ্যে আলোকরশ্মি অধিক পরিমাণে বাঁকিয়া যাইবে অথবা প্রতিসৃত হইবে।

দ্রষ্টব্য : প্রতিসরাঙ্কের যে সংজ্ঞা নির্দেশ করা হইল ইহাতে বায়ুকে প্রথম মাধ্যম (বা লঘু মাধ্যম) ধরা হইয়াছে। বায়ু ব্যতীত অন্য কোনও স্বচ্ছ মাধ্যমকেও প্রথম মাধ্যম ধরিয়া প্রতিসরাঙ্কের সংজ্ঞা নির্দেশ করা যায়। বলা বাহুল্য, প্রথম মাধ্যমের পরিবর্তন হইলে প্রতিসরাঙ্কের মানও পরিবর্তিত হইবে। সুতরাং কোনও মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলিবার সময় প্রথম মাধ্যমের উল্লেখ করিয়া

* প্রকৃতপক্ষে শূন্যস্থান (vacuum).

দেওয়া উচিত। কিন্তু প্রথম মাধ্যম বায়ু হইলে তাহার উল্লেখ করার প্রয়োজন হয় না এবং সাধারণত আলোকবিজ্ঞানের পুস্তকে কোনও মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলিয়া যাহার উল্লেখ থাকে, তাহাতে বায়ুকে (প্রকৃতপক্ষে শূন্যস্থানকে) প্রথম মাধ্যম ধরিয়া প্রাপ্ত প্রতিসরাঙ্কের মানই বলা হইয়া থাকে।

এখানে কয়েকটি স্বচ্ছ মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের মান দেওয়া হইল :

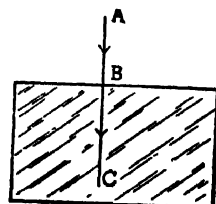
মাধ্যম	প্রতিসরাঙ্ক
কাচ (ক্রাউন)	1·50
কাচ (ফ্লিণ্ট)	1·6 হইতে 1·7
অভ্র	1·56 হইতে 1·6
কোয়ার্জ (Quarts)	1·54
বরফ	1·31
হীরক	2·42
জল	1·33
প্যারাফিন	1·44
তার্পিন তেল	1·47

লম্ব-আপতন (Normal incidence) : কোনও আলোকরশ্মি দুইটি মাধ্যমের বিভেদতলে সমকোণে (অর্থাৎ অভিলম্ব বরাবর) আপতিত হইলে উহা দ্বিতীয় মাধ্যমে লম্ব বরাবর প্রবেশ করে।

কারণ এখানে আপতন কোণ শূন্য ডিগ্রী অতএব

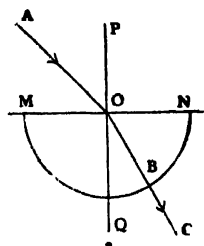
$$\therefore \sin r = \frac{\sin i}{\mu}$$

$$= \frac{\sin 0}{\mu} = \frac{0}{\mu} = 0$$

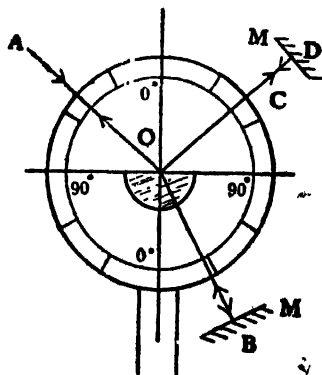
A
B
C

৪০নং চিত্র : লম্ব আপতন

সুতরাং আলোকরশ্মি দ্বিতীয় মাধ্যমের মধ্যে অভিলম্বের সহিত 0° কোণ করিয়া অর্থাৎ অভিলম্বের সহিত একই সরলরেখায় অগ্রসর হইবে। AB রশ্মিটি B বিন্দুতে সমকোণে আপতিত হইয়াছে। AB সরলরেখাকে দ্বিতীয় মাধ্যমের ভিতর বর্ধিত করিলে বর্ধিত BC সরলরেখাই দ্বিতীয় মাধ্যমের মধ্যে আলোকরশ্মির পথ নির্দেশিত করিবে।

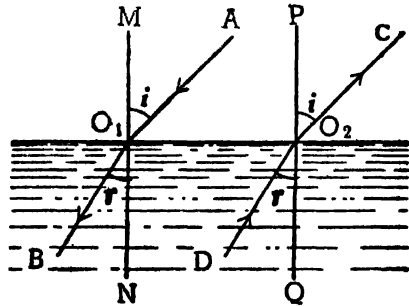
হার্টল্-এর আলোকচক্র (Hartle's Optical Disc) দ্বারা প্রতিসরণের সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা : হার্টল্-এর আলোকচক্রের ঠিক মাঝখানে একটি পুরু কাচের অর্ধবৃত্তাকার প্লেট (plate) এমন ভাবে রাখা হইল যেন উহার কেন্দ্রবিন্দু O আলোকচক্রের কেন্দ্রে, অর্ধবৃত্তের ব্যাস MN অনুভূমিক অবস্থায় এবং আলোকচক্রের 90° – 90° চিহ্নিত ব্যাসের সহিত সমান্তরাল থাকে এবং প্লেটটির বৃত্তাকার অংশ নীচের দিকে থাকে। এখন একটি সূক্ষ্ম আলোক-কিরণকে আলোকচক্রের প্রথম পাদের (Quadrant-এর) তল ঘেঁষিয়া ঐ অর্ধবৃত্তাকার কাচের ঠিক কেন্দ্রে ফেলা হইল। আলোকরশ্মি কাচের ভিতরে প্রতিসৃত হইয়া

অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া যাইবে। মনে করা যাক, AO আপতিত রশ্মি এবং OB প্রতিসৃত রশ্মি। এখানে OB রেখা MBN বৃত্তের ব্যাসার্ধ। কোনও বৃত্তের ব্যাসার্ধকে উহার সহিত পরিধির ছেদবিন্দুর কাছাকাছি ক্ষুদ্র অংশের উপর লম্ব মনে করা যায়, সুতরাং B বিন্দুতে OB রশ্মিটির লম্ব-আপতন হইয়াছে। অতএব OB রশ্মি দিক পরিবর্তন না করিয়া উহার নিজের পথেই BC রেখা বরাবর আবার বায়ুর মধ্যে অগ্রসর হইবে। অন্ধকার ঘরে বায়ুতে ভাসমান ধূলিকণা দ্বারা AO এবং OC রশ্মি দুইটি দৃশ্যমান হইবে। আলোকচক্রের স্কেল হইতে AO রশ্মির আপতন কোণ এবং উহার প্রতিসৃত অংশ OC রশ্মির প্রতিসরণ কোণের পাঠ পাওয়া যাইবে। আপতিত রশ্মিটিকে বিভিন্ন কোণে কাচের অর্ধবৃত্তের কেন্দ্রবিন্দুতে আপতিত করিয়া প্রত্যেক ক্ষেত্রে আপতন কোণ এবং প্রতিসরণ কোণের পাঠ লওয়া যাইতে পারে।

৪১নং চিত্র : প্রতিসরণ সূত্রের প্রমাণ

এখন প্রত্যেক ক্ষেত্রের আপতন ও প্রতিসরণ কোণ লইয়া $\frac{\sin i}{\sin r}$ অনুপাতটির মান গণনা করিয়া বাহির করিলে প্রায় একই মান পাওয়া যাইবে। ইহা দ্বারা প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্র (বা স্নেলের সূত্র) প্রমাণিত হইবে। তাহা ছাড়া ঐ অনুপাতের গড় মান হইতে কাচের (বা অন্য মাধ্যম লইলে তাহার) প্রতিসরাঙ্কও পাওয়া যাইবে। দ্বিতীয়ত, এই পরীক্ষায় দেখা যাইবে আপতিত রশ্মি ও প্রতিসৃত রশ্মি উভয়েই সর্বদা চক্রের উপরিতল স্পর্শ করিয়া গিয়াছে। অভিলম্বও (এক্ষেত্রে $0°-0°$ চিহ্নিত ব্যাস) ঐ তলের উপর অবস্থিত। সুতরাং প্রতিসরণের প্রথম সূত্রও প্রমাণিত হইল।

আলোকরশ্মি নিজের পথে প্রত্যাবর্তন করে (A light ray retraces its own path) : হার্টল-এর আলোকচক্র লইয়া উহার কেন্দ্রে AO একটি রশ্মিকে পাতিত করা হইল। মনে করা যাক, প্রতিফলিত রশ্মি OC রেখা অনুসরণ করিল। এখন C বিন্দুতে আর একখানি সমতল দর্পণ M কে প্রতিফলিত রশ্মির সহিত লম্বভাবে ধরা হইল। সমকোণে পাতন হওয়ায় রশ্মিটি দ্বিতীয় দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া প্রথম দর্পণে পড়িবে এবং প্রতিফলনের অনুসারে পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া OA রেখা অনুসরণ করিবে। আবার যদি আলোকচক্রের কেন্দ্রে একটি অর্ধবৃত্তাকার কাচ-ফলক রাখা যায়, তাহা হলে প্রতিসৃত রশ্মি OB পাওয়া যাইবে। এখন OB-র সহিত লম্বভাবে একখানি সমতল দর্পণ ধরিলে প্রতিফলিত

৪২নং চিত্র : আলোকরশ্মির প্রত্যাবর্তন

রশ্মি প্রথমে BO রেখা অনুসরণ করিবে এবং কাচ-ফলকে প্রতিসরণের পর আবার OA রেখা অনুসরণ করিতেছে দেখা যাইবে, কারণ নূতন কোনও আলোককিরণ আলোকচক্রের উপর দেখা যাইবে না। সুতরাং প্রতিফলন বা প্রতিসরণ উভয় ক্ষেত্রেই আলোকরশ্মিকে লম্ব-আপতনের দ্বারা ফিরাইয়া দিলে উহা নিজের পথেই প্রত্যাবর্তন করে। ইহা আলোকরশ্মির একটি সাধারণ ধর্ম।

গুরু মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রতিসরণঃ আলোকরশ্মি বায়ু হইতে জল বা অন্য স্বচ্ছ মাধ্যমে প্রবেশ না করিয়া যদি ঐ স্বচ্ছ মাধ্যম হইতে বায়ুতে প্রবেশ করে তাহা হইলে প্রতিসরণের নিয়ম কি হইবে? এবং প্রতিসরাঙ্কই বা কি হইবে? মনে করা যাক্, AO_1 রশ্মি বায়ু হইতে জলের উপর i আপতন কোণে আপতিত হইয়াছে। ইহা প্রতিসরণের পর O_1B রেখা অনুসরণ করিল এবং প্রতিসরণ কোণ r হইল। এ ক্ষেত্রে

৪৩নং চিত্র : গুরু মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রতিসরণ

জলের প্রতিসরাঙ্ক $\mu = \frac{\sin i}{\sin r}$ এখন যদি কোনও রশ্মি জল হইতে DO_2 রেখা অনুসরণ করিয়া বায়ুতে ঐ r কোণেই পাতিত হয়, এবং প্রতিসরণের পর বায়ুতে O_2C রেখা অনুসরণ করে তাহা হইলে PO_2C কোণের পরিমাণও i হইবে।

এক্ষেত্রে $\frac{\text{আপতন কোণের সাইন}}{\text{প্রতিসরণ কোণের সাইন}}$ বা $\frac{\sin r}{\sin i}$ অনুপাতকে $^w\mu_a$ অর্থাৎ জল হইতে বায়ুতে বা জলের তুলনায় বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক (refractive index of air relative to water) বলে। ইহার সহিত তুলনায় পূর্বের প্রতিসরাঙ্ক μকে $^a\mu_w$ বা বায়ুর তুলনায় জলের প্রতিসরাঙ্ক বলা যায়। দেখা যাইতেছে

$$^a\mu_w = \frac{1}{^w\mu_a}.$$

যদি আলোকরশ্মি শূন্য স্থান হইতে কোনও মাধ্যমে প্রবেশ করে তাহা হইলে $\frac{\sin i}{\sin r}$ অনুপাতের মানকে ঐ মাধ্যমের **নিরপেক্ষ প্রতিসরাঙ্ক** μ (absolute refractive index) বলে। ইহার সহিত বায়ুর তুলনায় ঐ মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের পার্থক্য খুব সামান্য। সেইজন্য বায়ুর তুলনায় কোনও মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ককেও শুধু μ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

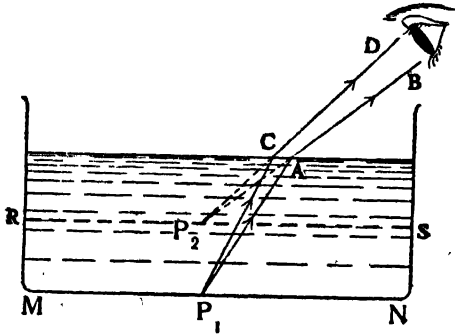
এইজন্য বায়ুতে অবস্থিত কোণকে সর্বদা i অক্ষর দ্বারা এবং গুরু মাধ্যমে অবস্থিত কোণকে r অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা যাইতে পারে। তাহা হইলে

যে ভাবেই আলোকরশ্মি প্রতিসৃত হউক না কেন, সর্বদাই, $\mu = \frac{\sin i}{\sin r}$ এই সূত্রটি প্রয়োগ করা যাইবে।

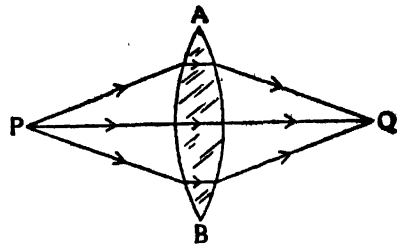
প্রতিসরণের দ্বারা বিম্ব গঠন

[Image formation by refraction]

সংজ্ঞা: কোনও বিন্দু হইতে একটি অপসারী কিরণ নির্গত হইয়া প্রতি-সরণের পর যদি দ্বিতীয় কোনও বিন্দুতে গিয়া মিলিত হয় অথবা দ্বিতীয় কোনও বিন্দু হইতে অপসৃত কিরণ বলিয়া বোধ হয়, তাহা হইলে দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর বিম্ব বা প্রতিবিম্ব (Image) বলা হয়। দ্বিতীয় বিন্দুতে রশ্মিগুলি প্রকৃতপক্ষে মিলিত হইলে উহাকে **বাস্তব** বা **সদ্‌বিম্ব** (Real image) এবং দ্বিতীয় বিন্দু হইতে বাহির হইয়া আসিতেছে মনে হইলে উহাকে **অলীক** বা **অসদ্‌বিম্ব** (Virtual image) বলা হয়।

৪৪নং চিত্র : অসদ্‌বিম্ব গঠন ও আপাত-গভীরতা হ্রাস

৪৩নং চিত্রে জলের নীচে P_1 বিন্দুটি লক্ষ্যবস্তু (object)। P_1 হইতে একটি অপসারী কিরণ আসিয়া জল ও বায়ুর বিভেদ তলে অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া গিয়া চক্ষুতে প্রবেশ করিয়াছে। ঐ অপসারী কিরণ যেন জলের মধ্যে P_2 বিন্দু হইতে নির্গত বলিয়া মনে হইতেছে। বায়ুতে প্রতিসৃত কিরণের রশ্মিগুলিকে পশ্চাৎ দিকে জলের মধ্যে বর্ধিত করিলে যে বিন্দুতে মিলিত হইবে তাহাই P_2 বিন্দু। পূর্বে বলা হইয়াছে এইরূপ আলোকরশ্মি যদি প্রতিসরণের (বা প্রতিফলনের) জন্য দিক পরিবর্তন করে, তাহা হইলে পরিবর্তিত রশ্মির সহিত মুখোমুখী চাহিয়া এই দিক পরিবর্তনকে লক্ষ্য করা যায় না। মনে হয়, বুঝি, কিরণটি P_2 বিন্দু হইতে সোজাসুজি আসিতেছে। সুতরাং P_2 বিন্দুই P_1 বিন্দুর বিম্ব। ইহা অসদ্‌বিম্ব, কারণ P_2 বিন্দু হইতে প্রকৃতপক্ষে কোনও আলোক আসিতেছে না, ইহা আমাদের চোখের ভ্রম মাত্র।

৪৫নং চিত্র : প্রতিসরণ দ্বারা সদ্‌বিম্ব

৪৪নং চিত্রে AB একটি আতস কাচ বা লেন্স (Lens)। P বিন্দু হইতে একটি অপসারী কিরণ নির্গত হইয়া লেন্স-এর ভিতরে প্রতিসরণের ফলে অভিসারী কিরণে পরিণত হইয়া পুনর্বার Q

বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। অতএব Q বিন্দু P বিন্দুর বিম্ব। এখানে আলোক-রশ্মিগুলি প্রতিসরণের পর বাস্তবিকই Q বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। সুতরাং ইহা সদ্‌বিম্ব (Real image)।

বিন্দু-বস্তুর (Point object) পরিবর্তে **বিস্তৃত বস্তু** (Extended object) লইলে, উহাকে কতকগুলি বিন্দুর সমষ্টি মনে করা যাইতে পারে। প্রত্যেক বিন্দু বস্তুর জন্য একটি করিয়া বিন্দু-বিম্ব পাওয়া যাইবে। এই সকল বিন্দু-বিম্বের দ্বারা সম্পূর্ণ বিম্বটি গঠিত হইবে।

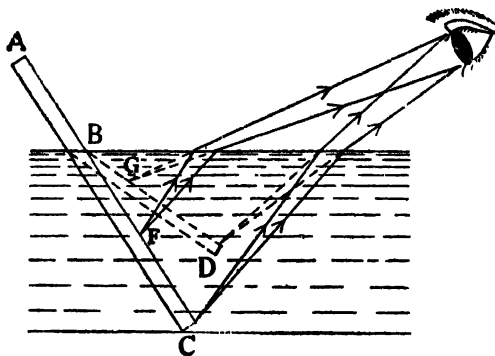
প্রতিসরণের কয়েকটি উদাহরণ

জলের আপাতত-গভীরতা : চৌবাচ্চা বা স্নানের টব (Bath tub) যখন জলপূর্ণ থাকে তখন শূন্য অবস্থার তুলনায় উহার গভীরতা হ্রাস পাইয়াছে বলিয়া বোধ হয়। ৪০নং চিত্রটি হইতেই ইহার কারণ স্পষ্ট বুঝা যাইবে। চিত্রে দেখা যাইতেছে উপর হইতে দেখিবার সময় পাত্রের তলদেশে অবস্থিত p_1 বিন্দুটির বিম্ব p_2 বিন্দুতে দেখা যায়। অর্থাৎ উপর হইতে P_1 বিন্দুটি দেখাই যায় না, তাহার পরিবর্তে উহার প্রতিবিম্ব p_2 বিন্দুটিকে দেখা যায়। এইরূপ পাত্রটির তলদেশের প্রত্যেকটি বিন্দুর জন্য একটি অনুরূপ বিন্দু-বিম্ব P_2এর সহিত অনুভূমিক তল RS-এর উপর অবস্থিত মনে হয়। এইরূপে সমগ্র তলদেশটিই MN অবস্থানের পরিবর্তে RS অবস্থানে আছে মনে হওয়ায় জলের আপাত-গভীরতা হ্রাস পায়।

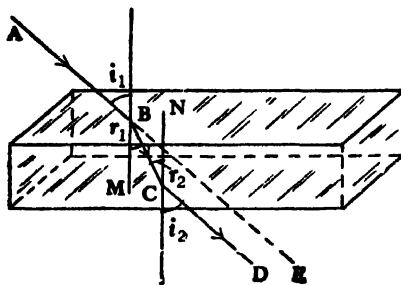
একই কারণে জলের মধ্যে লম্বভাবে হাত বা একখানি ছড়ি সম্পূর্ণভাবে ডুবাইলে আঙুলগুলি বা ছড়িখানিকে অনেক ছোট দেখায়।

এই উদাহরণটির প্রয়োগে একটি সুন্দর খেলা দেখান যাইতে পারে। টেবিলের উপর একটি কাপ বা বাটি রাখিয়া উহার মধ্যে একটি পয়সা রাখা হইল। এখন বাটি বা কাপ হইতে এমন দূরে চোখ সরাইয়া লওয়া হইল যাহাতে পয়সাটি আর দেখা না যায়। ঐখানে চোখ স্থির রাখিয়া পাত্রের মধ্যে জল ঢালিলে। পয়সা আবার ঐ স্থান হইতেই দেখা যাইবে।

জলের মধ্যে আংশিক নিমজ্জিত বস্তুর আপাত-বক্রতা : ABC একটি লাঠি। উহার BC অংশ জলে নিমজ্জিত। উপর হইতে দেখিলে মনে হয় যেন উহার BC অংশ জলের উপরিতলে B বিন্দু হইতে হঠাৎ বাঁকিয়া গিয়া BD অবস্থানে আছে। মনে করা যাক, লাঠিটির জলে নিমজ্জিত অংশে F যে কোনও একটি বিন্দু। F বিন্দু হইতে একটি অপসারী রশ্মিগুচ্ছ নির্গত হইয়া জল হইতে বায়ুতে প্রবেশের সময় এমনভাবে বাঁকিয়া গেল যেন মনে হইতেছে উহা G বিন্দু হইতে আসিতেছে। অতএব G বিন্দু F বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব (Virtual image)

এইরূপে লাঠিটির জলে নিমজ্জিত BC অংশের প্রত্যেক বিন্দুর একটি করিয়া বিন্দু-বিম্ব গঠিত হইবে। অর্থাৎ সমগ্র BC অংশের বিম্ব হইবে BD। অতএব জলের

৪৬নং চিত্র : লাঠির আপাত-বক্রতা

উপর হইতে BC অংশকে দেখা যাইবে না। তাহার পরিবর্তে উহার বিম্ব BDকে দেখা যাইবে। সেইজন্য মনে হইবে লাঠিটি জল ও বায়ুর বিভেদতলে যেন হঠাৎ ভাঙিয়া বাঁকিয়া গিয়াছে।

কাচের সমান্তরাল পাতের মধ্য প্রতিসরণ: একটি কাচের পাতের উপর AB আলোকরশ্মিটি i_1 কোণে আপতিত হইয়া কাচের ভিতরে r_1 কোণে প্রতিসৃত হইল এবং কাচের পাতের নিম্নতলে C বিন্দুতে আপতিত হইল। পাতটির উপরের ও নিম্নের তল সমান্তরাল, সুতরাং অভিলম্ব CN ও অভিলম্ব BM পরস্পর সমান্তরাল হইবে। অতএব ∠MBC ও ∠BCN একান্তর কোণ দুইটি পরস্পর

৪৭নং চিত্র : ঘনকের মধ্যে প্রতিসরণ

সমান অর্থাৎ $r_1 = r_2$ হইবে। রশ্মিটি C বিন্দুতে বায়ুতে পুনরায় নির্গত হইয়া CD রেখা অনুসরণ করিল। i_2 কোণকে **নিষ্ক্রমণ কোণ** (Angle of emergence) বলা হয়। প্রতিসরাঙ্কের সংজ্ঞানুসারে

$$\mu = \frac{\text{বায়ুতে অবস্থিত কোণের সাইন (sine)}}{\text{গুরু মাধ্যমে (কাচে) ” ” ”}}$$

∴ B বিন্দুর প্রতিসরণ হইতে $\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1}$

এবং C বিন্দুর প্রতিসরণ হইতে $\mu = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$

কিন্তু কোনও নির্দিষ্ট মাধ্যমের ক্ষেত্রে μ একটি ধ্রুবক।

সুতরাং, $\frac{\sin i_1}{\sin r_2} = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$

কিন্তু $r_1 = r_2$

$\therefore \quad \sin i_1 = \sin i_2$; $\therefore \quad i_1 = i_2$

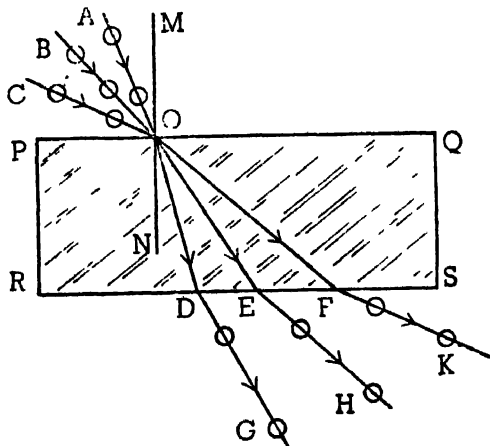
$\therefore$ AB ও CD সমান্তরাল।

অর্থাৎ, কোনও সমান্তরাল পাতের ভিতর প্রতিসরণ হইলে

আপতন কোণ = নিষ্ক্রমণ কোণ, এবং **আলোকরশ্মি প্রতিসরণের পর একই দিকে অগ্রসর হয়।** কিন্তু চিত্র হইতেই বুঝা যাইতেছে AB ও CD এক সরলরেখা নহে। AB রেখার বর্ধিতাংশ BEর সহিত CD সমান্তরাল, কিন্তু CD কিছু স্থানান্তরিত।

প্রতিসরণের সূত্রদ্বয়ের সত্যতা পরীক্ষার দ্বিতীয় প্রণালী: পিন-এর সাহায্যে (Pin Method):

প্রয়োজনীয় সরঞ্জাম: একটি কাচের ব্লক, কতকগুলি আলপিন, সাদা কাগজ, ড্রইংবোর্ড-পিন, স্কেল, কোণমাপক চাঁদা ইত্যাদি।

প্রণালী: ড্রইংবোর্ডের উপর বোর্ড-পিনের সাহায্যে একখণ্ড বড় সাদা কাগজ টান করিয়া আঁটিয়া ব্লকটি রাখিয়া উহার সীমারেখা PQRS টানা হইল। PQ রেখার এক প্রান্তের কাছাকাছি O একটি বিন্দু লইয়া AO, BO, CO প্রভৃতি বিভিন্ন কোণে আনত কয়েকটি সরলরেখা আঁকা হইল। এখন ব্লকটি কাগজের উপর ঠিক সীমারেখার সহিত মিলাইয়া রাখা হইল। AO,

৪৮নং চিত্র: পিন-এর সাহায্যে প্রতিসরণ সূত্রের প্রমাণ

BO প্রভৃতি রেখাগুলিকে একটি একটি করিয়া আপতিত রশ্মি বিবেচনা করিতে হইবে। প্রথমে AO রেখার উপর কিছু তফাতে দুইটি পিন পুঁতিয়া দাঁড় করাইয়া রাখা হইল। মনে করা যাক, AO রশ্মিটি কাচের ভিতর OD রেখা এবং বাহিরে আবার DG রেখা অনুসরণ করিয়াছে। তাহা হইলে কাঁচের ব্লকের RS প্রান্তের দিক হইতে দেখিলে GD রেখার পশ্চাদ্দিকে বর্ধিতাংশের

উপর পিন দুইটির প্রতিসৃত বিম্ব (Refracted images) দেখা যাইবে। কাগজের সমতল বরাবর নজর রাখিয়া দুইটিপিন বোর্ডের উপর এমনভাবে পুঁতিয়া দেওয়া হইল যাহাতে চারিটি পিনের গোড়া যেন একই সরলরেখায় অবস্থিত বলিয়া বোধ হয়। এখন পিনগুলিকে ও কাচের ব্লকটি তুলিয়া RS প্রান্তের দিকে পিনের ছিদ্র দুইটি পেন্সিলের দ্বারা চিহ্নিত করিয়া উহাদের যোগ করিয়া নিক্রান্ত রশ্মির (Imergent ray) পথ GD রেখা পাওয়া গেল। উহা কাচের ব্লক হইতে D বিন্দুতে নিক্রান্ত হইয়াছে। সুতরাং OD যোগ করিলে AO রশ্মির প্রতিসৃত রশ্মিব পথ নির্ণীত হইল।

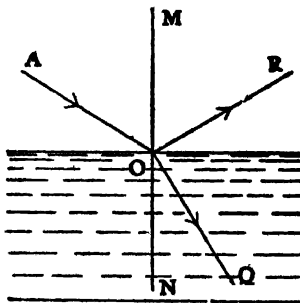
এইরূপ BO, CO প্রভৃতি রেখাকে আপতিত রশ্মি ধরিয়া উহাদের প্রত্যেকের প্রতিসৃত রশ্মিব পথ নির্ণয় করা যাইতে পারে।

এখন চাঁদার সাহায্যে প্রত্যেক ক্ষেত্রে আপতন কোণ (i) ও প্রতিসরণ কোণ (r) মাপিয়া, ত্রিকোণমিতীয় তালিকা হইতে উহাদের সাইনের অনুপাতের মান নির্ণয় করিয়া $\mu = \frac{\sin\ i}{\sin\ r}$ এর মান নির্ণয় করা যাইতে পারে।

দেখা যাইবে অনুপাতের মান প্রায় একটি ধ্রুবক। এইরূপে প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণিত হইল এবং কাচের প্রতিসরাঙ্কও নির্ণীত হইল।

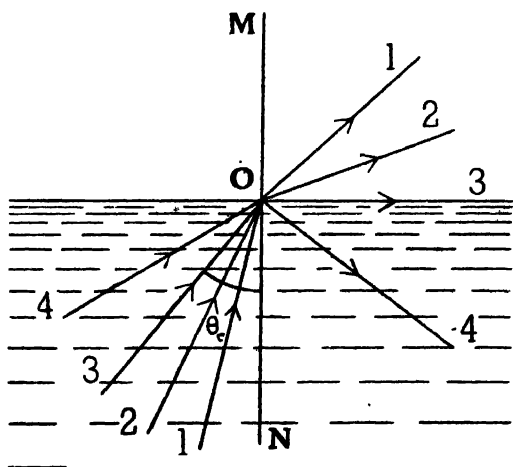
এই পরীক্ষায় আপতিত রশ্মি, অভিলম্ব এবং প্রতিসৃত রশ্মি সর্বদাই কাগজের সমতলে আছে। সুতরাং প্রতিসরণের প্রথম সূত্রের সত্যতাও এই পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইল।

আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন
[Total Internal Reflection]

আমরা জানি, দুইটি মাধ্যমের বিভেদতলে কোনও আলোকরশ্মি পতিত হইলে উহার একাংশ প্রতিফলনের নিয়ম অনুসরণ করিয়া প্রথম মাধ্যমে প্রতিফলিত হয় এবং অপরাংশ দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়। ৪৮নং চিত্রে AO আপতিত রশ্মি এবং OR ও OQ যথাক্রমে প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত রশ্মি। ৪৯নং চিত্রে আলোকরশ্মি গুরু মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রবেশ করিয়াছে। মনে করা যাক, লঘু মাধ্যম বায়ু এবং গুরু মাধ্যম জল। এক্ষেত্রে আলোকরশ্মি লঘু মাধ্যমে অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে, অর্থাৎ আপতন কোণ হইতে সর্বদা প্রতিসরণ কোণ বড় হইবে। আপাতন কোণকে যদি ক্রমাগত বাড়াইয়া যাওয়া হয়, তাহা হইলে প্রতিসরণ কোনও বাড়িয়া যাইবে। এইরূপে জলের মধ্যে (1), (2) প্রভৃতি চিহ্নিত রশ্মি বায়ুতে

৪৮নং চিত্র : লঘু হইতে গুরু মাধ্যম প্রতিসরণ

যথাক্রমে (1), (2) প্রভৃতি চিহ্নিত পথ অনুসরণ করিবে। কিন্তু এইরূপে ক্রমাগত যদি আপতন কোণ বাড়াইয়া যাওয়া যায় তাহা হইলে এক সময় প্রতিসৃত রশ্মি ঠিক জল ও বায়ুর বিভেদতলকে স্পর্শ করিয়া অগ্রসর হইবে। চিত্রে (3) চিহ্নিত রশ্মি এইরূপে প্রতিসৃত হইয়াছে। এক্ষেত্রে প্রতিসরণ কোণ এক সমকোণ বা 90° হইবে। ইহার পরে যদি আপতন কোণকে আরও বাড়ান হয়, তাহা হইলে কোনও প্রতিসৃত রশ্মি পাওয়া যাইবে না, কারণ প্রতিসরণ কোণ 90° ডিগ্রীর বেশী হইতে পারে না। সুতরাং (3) চিহ্নিত রশ্মির আপতন কোণ অপেক্ষা সামান্য বড় আপতন কোণ লইলেও উহার কোন প্রতিসৃত রশ্মি থাকিবে না। (3) চিহ্নিত রশ্মির আপতন কোণ θ_c-কে দুইটি মাধ্যমের **সংকট কোণ** (Critical Angle) বলা হয়। অতএব,

কোনও আলোকরশ্মি কোনও গুরু মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে যে কোণে আপতিত হইলে লঘু মাধ্যমে উহার প্রতিসরণ কোণ এক সমকোণ হয়, সেই কোণকে মাধ্যম দুইটির সংকট কোণ বলে।

সংকট কোণ বা তাহার চেয়ে ছোট কোণে আপতিত রশ্মির কিছু অংশ মাত্র প্রতিফলিত হয়। চিত্রে প্রতিফলিত অংশ দেখানো হয় নাই। কিন্তু যদি আপতন কোণকে সংকট কোণ θ_c অপেক্ষাও বড় লওয়া হয়, তাহা হইলে কেবল প্রতিফলিত রশ্মিটিই পাওয়া যায়। (4) চিহ্নিত আপতিত রশ্মিটির এইরূপ কেবল প্রতিফলিত রশ্মিই আছে, প্রতিসৃত রশ্মি নাই। ইহাকে **আভ্যন্তরীণ পূর্ণপ্রতিফলন** (Total Internal Reflection) বা পূর্ণ প্রতিফলন বলে। গুরু মাধ্যমের মধ্যেই সমস্ত আলোক প্রতিফলিত হয় বলিয়া ইহাকে এইরূপ বলা হয়। পূর্ণ প্রতিফলনে আপতিত রশ্মির দ্বারা বাহিত সমস্ত আলোক শক্তিই প্রতিফলিত রশ্মির মধ্যে থাকে। [অবশ্য মাধ্যম ও বিভেদতলে কিছু পরিমাণ শক্তি শোষিত (absorbed) হয়।] এইজন্য সাধারণ প্রতিফলন অপেক্ষা পূর্ণ প্রতিফলনে প্রতিফলিত রশ্মির মধ্যে আলোকশক্তি অনেক বেশী থাকে, এবং পূর্ণ প্রতিফলিত রশ্মির উজ্জ্বলতাও খুব বেশী হয়।

৩০নং চিত্র : সংকট কোণ ও আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন

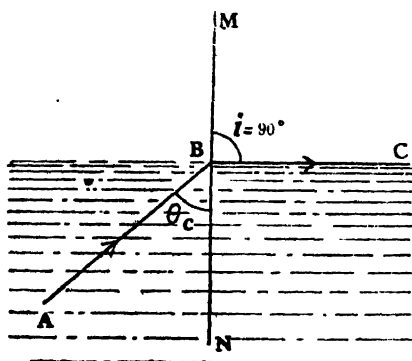
এই আলোচনা হইতে বুঝা যাইতেছে নিম্নে বর্ণিত শর্তগুলি পালিত না হইলে কখনও পূর্ণ প্রতিফলন হইতে পারে না।

1. আলোকরশ্মি গুরু মাধ্যমের ভিতর দিয়া লঘু মাধ্যমের বিভেদতলে আপতিত হওয়া চাই।

2. আপতন কোণ অবশ্যই উভয় মাধ্যমের সংকট কোণ (Critical angle) অপেক্ষা বৃহত্তর হওয়া চাই।

সংকট কোণ ও প্রতিসরাঙ্কের সম্বন্ধ : যখন বায়ু ও অন্য কোনও স্বচ্ছ মাধ্যমের মধ্যে আলোকরশ্মির প্রতিসরণ হয়, তখন নিম্নের সূত্রটি হইতে ঐ দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক পাওয়া যায়।

$$\mu=\frac{\sin i}{\sin r}$$; এখানে i = বায়ুতে অবস্থিত কোণ
r = অন্য মাধ্যমে " "

৫১নং চিত্র : সংকটকোণ ও প্রতিসরাঙ্ক

কিন্তু যদি গুরু মাধ্যম হইতে আলোকরশ্মি বায়ুর বিভেদতলে সংকট কোণে আপতিত হয়, তাহা হইলে, গুরু মাধ্যমের কোণ r = সংকটকোণ θ_c, এবং বায়ুতে অবস্থিত কোণ $i=90°$ সুতরাং, এক্ষেত্রে গুরু মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক,

$$\mu=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\sin 90°}{\sin \theta_c}=\frac{1}{\sin\theta_c}$$
$[\because \sin 90°=1]$

কোনও মাধ্যমের সংকট কোণ জানা থাকিলে, এই সূত্র হইতে উহার প্রতিসরাঙ্ক জানা যাইতে পারে। আমরা জানি প্রতিসরাঙ্ক কোনও মাধ্যমের পক্ষে একটি ধ্রুবক, সুতরাং সংকট কোণও ঐ মাধ্যমের পক্ষে একটি ধ্রুবক।

উদাহরণ 1 : জল ও বায়ুর মধ্যে সংকট কোণ 48°·5 হইলে, জলের প্রতিসরাঙ্ক কত ?

$$\mu=\frac{1}{\sin\theta_c}=\frac{1}{\sin 48°{\cdot}5}=\frac{1}{\cdot 7490}=1{\cdot}33$$

উদাহরণ 2 : কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হইলে, কাচ ও বায়ুর মধ্যে সংকট কোণ কত হইবে ?

$$\sin\theta_c=\frac{1}{\mu}=\frac{1}{1{\cdot}5}=0{\cdot}667$$

কিন্তু ত্রিকোণমিতির sine তালিকা হইতে sin 41°8 = 0·667

∴ কাচ ও বায়ুর মধ্যে সংকট কোণ $\theta°=41°8$

উদাহরণ 3 : হীরকের প্রতিসরাঙ্ক 2·42 ; দেখাও যে হীরক হইতে বায়ুতে একটি রশ্মি 25° কোণে আপতিত হইলে উহার আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন হইবে।

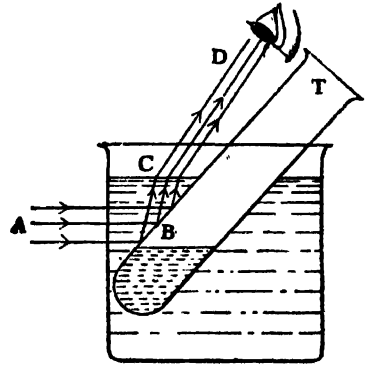
হীরকের সংকট কোণ θc হইলে $\sin\theta c=\frac{1}{2{\cdot}42}=0{\cdot}4132$

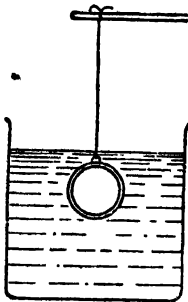
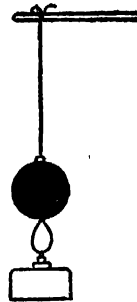
কিন্তু সাইন তালিকা হইতে $0{\cdot}4132 = \sin 24^\circ 24'$

$\therefore \theta_c = 24^\circ 2'$.

$\therefore$ 2১° কোণে কোনও রশ্মি আপতিত হইলে, উহা সংকট কোণের বৃহত্তর কোণে গুরু মাধ্যমে আপতিত হওয়ার জন্য অবশ্যই পূর্ণ প্রতিফলিত হইবে।

আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের কয়েকটি উদাহরণ

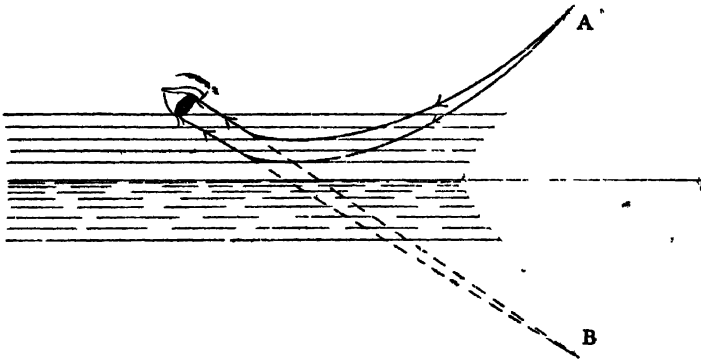
1. একটি শূন্য পরীক্ষা-নল (Test tube) T-কে একটু তির্যকভাবে জলে ডুবাইয়া পার্শ্ব বা উপর হইতে দেখিলে পরীক্ষা-নলটির দেওয়াল খুব উজ্জ্বল দেখায়। মনে হয় যে পরীক্ষা-নলটি রূপার তৈয়ারী। বাহির হইতে AB প্রভৃতি আলোকরশ্মি জলের ভিতর দিয়া পরীক্ষা নলের কাচের দেওয়াল ভেদ করিয়া B বিন্দুর চারিপাশে কাচ ও বায়ুর বিভেদতলে আপতিত হইতেছে। কাচ ও বায়ুর মধ্যে সংকট কোণ মাত্র 42° ডিগ্রীর মতো। সুতরাং অনেক আলোক রশ্মিই সংকট কোণ অপেক্ষা বৃহত্তর কোণে আপতিত হইবে এবং তাহার ফলে উহাদের পূর্ণ প্রতিফলন হইবে। ABCD এইরূপ কতকগুলি পূর্ণ প্রতি ফলিত রশ্মির পথ নির্দেশ করিতেছে। এই সকল পূর্ণ প্রতিফলিত রশ্মি চোখে প্রবেশ করার জন্যই কাচের দেওয়াল খুব উজ্জ্বল দেখায়।

৫২নং চিত্র : পরীক্ষা-নল জলে ডুবাইয়া পরীক্ষা

2. একটি ধাতুনির্মিত বলকে শিকল বা তারে ঝুলাইয়া জ্বলন্ত কেরোসিন কুপির উপর ধরিয়া অথবা অন্য যে কোনও উপায়ে উহার উপর ঝুলকালির

৫৩কনং চিত্র : বলে ঝুল কালির আবরণ দেওয়া

৫৩খনং চিত্র : বল জলে ডুবান

(lamp black) একটি আবরণ দিতে হইবে। এখন বলটি জলের মধ্যে ঝুলাইয়া দিলে উহার উপরিতল কাচের মতো উজ্জ্বল দেখাইবে। ঝুলকালির

স্তরটি অঙ্গারকণার দ্বারা গঠিত এবং ফাঁপা। ইহার অঙ্গারকণাগুলির ফাঁকে ফাঁকে বায়ুস্তর রহিয়াছে। জল হইতে আলোকরশ্মি ঐ বায়ুস্তরে আপতিত হইবার সময়ে উহাদের অনেকগুলি জল ও বায়ুর সংকট কোণ অপেক্ষা বৃহত্তর কোণে আপতিত হয়। ইহার ফলে আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ঘটে এবং এই পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য বলটির উপরিতলকে উজ্জ্বল দেখায়।

3. হীরক ও অন্যান্য মণিমুক্তার উজ্জ্বলতার কারণও আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন। ইহাদের প্রতিসরাঙ্ক খুব বড়, সেইজন্য সংকট কোণ খুব ছোট। উদাহরণস্বরূপ হীরকের সংকট কোণ মাত্র $24°24'$. সুতরাং ইহাদের মধ্যে কোনও আলোকরশ্মি প্রবেশ করিলে উহার অনেকগুলিরই পূর্ণ প্রতিফলন হয়। এইরূপে অনেকবার পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া কতকগুলি রশ্মি কোনও একটি কর্তিত তল হইতে বাহির হয় এবং ঐ তলকে খুব উজ্জ্বল দেখা যায়। ইহাদের উজ্জ্বলতা তল কাটার দক্ষতার উপর অবশ্য অনেকখানি নির্ভর করে।

4. **মরীচিকা (Mirage) :** মরু অঞ্চলে অনেক সময় দৃষ্টিবিভ্রমের জন্য দূরে জলাশয় আছে ব'লয়া ভ্রম হয়। ইহার কারণও অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন। মরু অঞ্চলে বালুকা উত্তপ্ত হওয়ার জন্য উহার সংলগ্ন বায়ুস্তরের ঘনত্ব কম হয় এবং (ভূমির নিকটবর্তী কিছুদূর পর্যন্ত) যত উর্ধ্বে উঠা যায় বায়ুর ঘনত্ব স্তরে স্তরে তত বৃদ্ধি পায়। স্বাভাবিক অবস্থায় অবশ্য নিম্নের বায়ুস্তরের ঘনত্বই বেশী হওয়া উচিত। মনে করা যাক, মরুভূমিতে দর্শকের কিছু দূরে একটি বালির পাহাড় রহিয়াছে। ইহার শীর্ষদেশে A হইতে একটি আলোকরশ্মি নিম্নাভিমুখী হইয়া একটির পর একটি স্তর অতিক্রম করিতে থাকিবে। প্রত্যেক দুই স্তরের বিভেদতলে আলোকরশ্মি গুরু মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে

৫৪নং চিত্র : মরু অঞ্চলের মরীচিকা

পতিত হইতেছে। সুতরাং আপতন কোণ ক্রমশ বাড়িয়া যাইতেছে। এইরূপে কয়েকটি স্তর পার হইবার পর আলোকরশ্মিটি একস্থানে দুইটি মাধ্যমের সংকট কোণকে অতিক্রম করিতে পারে। ঠিক তখনই রশ্মিটির পূর্ণ প্রতিফলন হইবে। এইরূপ পূর্ণ প্রতিফলিত যে সকল রশ্মি উর্ধ্বাভিমুখী হইয়া দর্শকের চোখে প্রবেশ করিবে তাহাদের দ্বারা A শীর্ষবিন্দুর একটি উজ্জ্বল অসদ্বিম্ব

(Virtual image) নিম্নে B বিন্দুতে দেখা যাইবে। এইরূপে বালিয়াড়িটির প্রত্যেক বিন্দুর বিম্ব গঠিত হইয়া উহার একটি অবশীর্ষ বা উল্টা বিম্ব (Inverted image) দেখা যাইবে। দূরে অবস্থিত দর্শকের নিকট এই অবশীর্ষ বিম্বটি বলিয়াড়িটির পাদদেশে অবস্থিত কোনও স্বচ্ছ জলাশয়ের দ্বারা উৎপন্ন হইয়াছে বলিয়া ভ্রম হইবে। আবার বায়ুস্তরগুলির অবস্থান পরিবর্তিত হয় বলিয়া প্রতি-বিম্বটি স্থির থাকে না, সর্বদা কাঁপিতে থাকে। জলে ছোট ছোট ঢেউ থাকিলে উহার ভিতরে প্রতিবিম্ব যেমন দেখায় এই প্রতিবিম্বটিও সেইরূপ মনে হয়। তাহার ফলে জলাশয়ের ভ্রম আরও প্রবল হয়। ইহাই মরু অঞ্চলের মরীচিকা।

মেরু অঞ্চলেও কখনও বিপরীত ধরণের এক প্রকার মরীচিকা দেখা যায়। মেরু অঞ্চলে শীতল বরফাচ্ছন্ন জলভাগ বা ভূমির সংস্পর্শে নিম্নের বায়ুস্তর অত্যন্ত ঘন এবং যত উপরে উঠা যায় ততই বায়ুর ঘনত্ব হ্রাস পায়। সমুদ্র-পৃষ্ঠে বা ভূপৃষ্ঠে অবস্থিত কোনও বস্তু হইতে আলোকরশ্মি তির্যকভাবে উপরে উঠিয়া পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য নিম্নে সম্পূর্ণ আবর্তিত হয় তাহার ফলে ঐ বস্তুর একটি উল্টা প্রতিবিম্ব আকাশে ভাসমান অবস্থায় দেখা যায়।

সারাংশ

এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে প্রবেশের সময়ে বিভেদতলে আলোকরশ্মির দিক পরিবর্তন করাকে আলোকের প্রতিসরণ (Refraction) বলে। লঘু মাধ্যম হইতে গুরু মাধ্যমে প্রবেশের সময় আলোকরশ্মি অভিলম্বের দিকে ঘেঁষিয়া যায় ; আর গুরু মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রবেশের সময় আলোকরশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যায়।

প্রতিসরণের সূত্র (Laws of Refraction) : (1) আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে বিভেদ তলের উপর অভিলম্ব এবং প্রতিসৃত রশ্মি একই সমতলে অবস্থিত হয় ; (2) দুইটি নির্দিষ্ট মাধ্যম এবং কোনও নির্দিষ্ট রঙের আলোক-রশ্মির ক্ষেত্রে আপতন কোণের সাইন (Sine) প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত একটি ধ্রুবক $\left(\text{অর্থাৎ} \frac{\sin i}{\sin r} = \text{ধ্রুবক}\right)$।

প্রতিসরাঙ্ক (Refractive Index) : $\frac{\sin i}{\sin r}$ অনুপাতটিকে আলোচ্য মাধ্যম দুইটির একটির তুলনায় অপরটির প্রতিসরাঙ্ক বলে। সাধারণত প্রথম মাধ্যম বায়ু (বা শূন্যস্থান) ও দ্বিতীয় মাধ্যম কোনও গুরু মাধ্যম হইলে এই অনুপাতকে গুরু মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলে। প্রতিসরাঙ্ককে μ অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

আলোকরশ্মি লম্বভাবে আপতিত হইলে উহার পথের পরিবর্তন হয় না। প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত আলোকরশ্মিকে উহার সহিত সমকোণে আনত দর্পণের দ্বারা ফিরাইয়া দিলে রশ্মি ঠিক নিজেরই পূর্বপথ অনুসরণ করে।

হার্টল্-এর আলোকচক্র অথবা কাচফলক ও পিনের দ্বারা বিভিন্ন কোণে আপতিত রশ্মি ও উহাদের প্রত্যেকের প্রতিসৃত রশ্মির পথ নির্ণয় করিয়া প্রতিসরণের সূত্র দুইটির সত্যতা পরীক্ষা করা যায়।

বিম্ব বা **প্রতিবিম্ব** দুই প্রকার ; সদ্‌বিম্ব ও অসদ্‌বিম্ব। কোনও বিন্দু হইতে একটি আলোকের কিরণ অপসৃত হইয়া প্রতিসরণের পরে দ্বিতীয় কোনও বিন্দুতে মিলিত হইলে দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর বাস্তব বা সদ্‌বিম্ব (Real image) বলে। সদ্‌বিম্বের বাস্তব অস্তিত্ব আছে এবং উহাকে পর্দার উপর ধরা যায়। কিন্তু প্রতিসরণের পর আলোকরশ্মি যদি দ্বিতীয় কোনও বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়, তাহা হইলে দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর অলীক বা অসদ্‌বিম্ব (Virtual image) বলে। অসদ্‌বিম্বের কোনও বাস্তব অস্তিত্ব নাই এবং উহাকে পর্দার উপর ধরা যায় না।

আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন (Total Internal Reflection): গুরু মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রতিসরণের সময়ে আপতন কোণ একটা নির্দিষ্ট কোণের বেশী হইলে লঘু মাধ্যমে কোনও প্রতিসৃত রশ্মি থাকে না এবং রশ্মিটি গুরু মাধ্যমের মধ্যে সম্পূর্ণ প্রতিফলিত হয়। ইহাকে আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন এবং ঐ নির্দিষ্ট কোণকে দুইটি মাধ্যমের সংকট কোণ (Critical Angle) বলে।

বায়ু ও একটি গুরু মাধ্যমের মধ্যে সংকট কোণ θ_c হইলে ঐ মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক $\mu = \dfrac{1}{\sin \theta_c}$.

হীরক, মণিমুক্তা প্রভৃতির উজ্জ্বলতার কারণ উহাদের উচ্চমানের প্রতিসরাঙ্ক এবং তাহার ফলে আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন।

মরীচিকা (Mirage): মরুভূমিতে ভূ-পৃষ্ঠের সংলগ্ন বায়ুতে উষ্ণতার তারতম্যের জন্য বিভিন্ন ঘনত্বাবশিষ্ট বায়ুস্তরের সৃষ্টি হয় এবং তাহার ফলে কোনও লক্ষ্যবস্তু হইতে আগত আলোকরশ্মির আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন হয় এবং লক্ষ্যবস্তুর একটি উজ্জ্বল অবশীর্ষ-বিম্ব গঠিত হইয়া মরীচিকার সৃষ্টি করে। মেরু প্রদেশে উষ্ণতা অনুসারে বায়ুস্তরের বিন্যাস ঠিক বিপরীত হয় এবং সেইজন্য আকাশে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব দেখা যায়।

অনুশীলনী

1. *Explain with diagrams what is meant by refraction of light, incident ray, normal, refracted ray, angle of incidence and angle of refraction.*

2. *State the Laws of Refraction. Define Refractive Index. Explain with necessary diagrams.*

3. *Describe an experiment to verify the laws of refraction.*

4. *When a ray of light enters from air into a medium, the angles of incidence and refraction are 60° and 35° respectively. What is the refractive index of the medium? Will this refractive index change if light of some other colour is taken?*

5. *A ray of light is incident at an angle of 48° from air upon any other medium. If the refractive index of the medium is 1·5, at what angle will the light ray be refracted?*

6. *Define a real image and a virtual image. Explain with diagrams how real and virtual images are formed by refraction.*

7. *Explain with diagrams total internal reflection and critical angle. Critical angle for a medium is 44°; what is its refractive index? Refractive index of rock salt is 1·54; what is the critical angle for rock salt?*

8. *Explain the phenomena of mirage in a desert and in the polar regions.*

9. *Explain the under-mentioned phenomena:*

(*i*) *A vessel appears less deep when full of water than when empty.*

(*ii*) *When a stick is immersed into water in an inclined position it appears bent at the surface of sepration between air and water.*

(*iii*) *Diamond and other jewels appear bright.*

(*iv*) *If a test-tube is held partly immersed in water, the surface of its immersed portion appears very bright.*

॥ উত্তর ॥

4. 1·51, 5. 28°6, 6. 1·44, 40°30

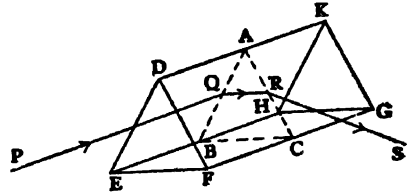
চতুর্থ অধ্যায়

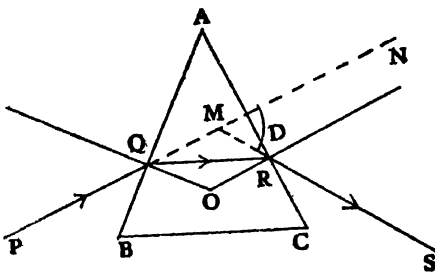
আলোকের বিচ্ছুরণ

[Dispersion of Light]

প্রিজ্‌ম

কোনও বস্তুর প্রস্থচ্ছেদ আগাগোড়া সমান ও সরলরৈখিক ক্ষেত্র হইলে তাহাকে প্রিজম্ বলে। প্রিজ্‌মের প্রস্থচ্ছেদ ত্রিভুজ, চতুর্ভুজ বা যে কোনও সংখ্যক সরলরেখা দ্বারা গঠিত ক্ষেত্র হইতে পারে। ত্রিভুজ প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট প্রিজ্‌মকে (Prism) **ত্রিভুজাকৃতি প্রিজ্‌ম** (Triangular Prism) বলে। বর্তমান অধ্যায়ে প্রিজ্‌ম বলিতে কেবল ত্রিভুজাকৃতি প্রিজ্‌ম বুঝাইবে।

কাচ বা অন্য কোনও স্বচ্ছপদার্থে গঠিত একটি প্রিজ্‌ম লইলে উহা আলোকের মাধ্যম হিসাবে ব্যবহৃত হইতে পারে। এইরূপ একটি প্রিজ্‌মের ত্রিভুজাকার প্রস্থচ্ছেদকে **মূল প্রস্থচ্ছেদ** (Principal section) বলে। চিত্রে প্রদর্শিত ত্রিভুজটির ABC DEF বা KHG-কে মূল প্রস্থচ্ছেদ ধরা যাইতে পারে। এইরূপ একটি প্রিজ্‌মের DEHK পার্শ্বে PQ আলোকরশ্মিটি আপতিত হইয়াছে।

৫৫নং চিত্র : প্রিজ্‌ম

Q বিন্দুতে উহা কাচের মধ্যে প্রতিসৃত হইবে। মনে করা যাক, রশ্মিটি ABC মূল প্রস্থচ্ছেদের সহিত এক সমতলে অবস্থিত। প্রতিসৃত হইয়া রশ্মিটি QR পথে চলিয়া R বিন্দুতে কাচ ও বায়ুর বিভেদতলে আপতিত হইল। সুতরাং R বিন্দুতে QR অপেক্ষা অভিলম্বের সহিত বৃহত্তর কোণ করিয়া উহা বায়ুতে নিষ্ক্রান্ত হইবে। RS সেইরূপে নিষ্ক্রান্ত রশ্মি (Emergent ray)। এক্ষেত্রে DFGK ও DEHK তল দুইটিকে **প্রতিসরণতল** (Refracting surfaces), DK রেখাকে **প্রতিসরণ প্রান্ত** (Refracting edge) এবং BAC কোণকে **প্রিজ্‌মের কোণ** (Angle of the prism) বলে।

৫৬নং চিত্র : প্রিজ্‌মের দ্বারা প্রতিসরণ

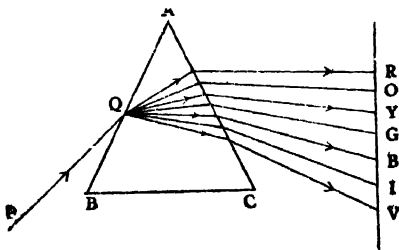
PQ রেখা আপতিত রশ্মির পথ ; এবং প্রিজ্‌মের ভিতর প্রতিসরণের পরে RS রেখা নিষ্ক্রান্ত রশ্মির পথ। যদি রশ্মিটির পথে কোনও প্রিজ্‌ম না থাকিত তাহা হইলে

রশ্মিটি PQMN সরলরেখায় গমন করিত। কিন্তু প্রিজ্‌মটি থাকার ফলে রশ্মিটি RS সরলরেখার পথে চলিতে লাগিল। PQMN ও MS সরলরেখা দুইটির মধ্যে NMS কোণটির পরিমাণ যদি D হয়, তাহা হইলে প্রিজ্‌মের মধ্যে প্রতিসরণের ফলে রশ্মিটি D কোণের পরিমাণ পথ পরিবর্তন করিল। ইহাকে আলোকরশ্মির **অপসরণ** বা **চ্যুতিকোণ** (Deviation) বলে।

কোনও প্রিজ্‌মের দ্বারা একটি আলোকরশ্মি প্রতিসৃত হইলে রশ্মিটির অপসরণের (চ্যুতিকোণের) পরিমাণ প্রিজ্‌মের প্রথম প্রতিসরণ তলের আপতন কোণের উপর নির্ভর করে। আপতন কোণ ক্রমাগত কমাইয়া গেলে চ্যুতিকোণ একটানা কমিয়া যায় না। একটা নির্দিষ্ট নিম্নতম চ্যুতিকোণে পৌছাইয়া উহা আবার বাড়িতে থাকে। এই নিম্নতম চ্যুতিকোণকে আলোচ্য প্রিজ্‌মের ন্যূনতম চ্যুতিকোণ (Minimum deviation) বলে। কোনও প্রিজ্‌মের ন্যূনতম চ্যুতিকোণের পরিমাণ ঐ প্রিজ্‌মের উপাদান ও প্রিজ্‌মের কোণের উপর নির্ভর করে। একটি নির্দিষ্ট প্রিজ্‌মের ক্ষেত্রে উহার চ্যুতিকোণও নির্দিষ্ট।

কোনও প্রিজ্‌মে একটি আলোকরশ্মি অবম চ্যুতিকোণে প্রতিসৃত হইলে রশ্মিটি প্রিজ্‌মের সহিত প্রতিসমভাবে (Symmetrically) অবস্থিত হয়। অর্থাৎ ৫৬নং চিত্রে PQRS রশ্মিটি যদি এইরূপ একটি রশ্মি হয়, তাহা হইলে AQ=AD, এবং আপতন কোণ=নিষ্ক্রমণ কোণ হইবে।

বর্ণালী (Spectrum)

একটি কাচের প্রিজ্‌মের ভিতর দিয়া সূর্যালোকে আলোকিত কোনও বস্তুকে দেখিলে ঐ বস্তুর সীমানায় রামধনুর মতো নানা রঙের বিন্যাস দেখা যায়। ইহা হইতে অনুমান করা যায় যে সূর্যালোক প্রিজ্‌মের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে এই সকল রঙ দৃষ্টিগোচর হয়। এই বিষয়ে আরও সুনির্দিষ্টভাবে পর্যবেক্ষণ করিতে হইলে একটি পরীক্ষা করা যাইতে পারে। ঘরের দরজা-জানালা বন্ধ করিয়া জানালায় একটি খুব ছোট ছিদ্র রাখা হইল যাহাতে ঐ ছিদ্রপথে সূর্যালোকের* একটি সূক্ষ্ম কিরণ (beam) ঘরে প্রবেশ করিতে পারে। ঐ কিরণের পথে একটি কাচের প্রিজ্‌ম রাখিয়া প্রিজ্‌মের

৫৭নং চিত্র : বর্ণালীর উৎপত্তি

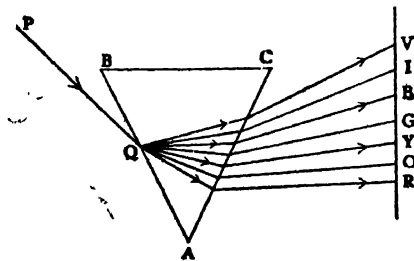
পরে একটি সাদা কাগজের পর্দা রাখা হইল। পর্দার উপর পর পর এই সাতটি রঙ বিন্যস্ত দেখা যাইবে : বেগুনী (Violet), বেগুনী-নীল (Indigo), নীল (Blue), সবুজ (Green), হলুদ (Yellow), কমলা (Orange) এবং লাল

* সূর্যালোকের পরিবর্তে একটি বাল্বের মধ্যে রাখা বৈদ্যুতিক আলোর খুব শুভ্র কিরণও লওয়া যাইতে পারে।

(Red)। সাতটি রঙ-এর ইংরাজী নামের প্রথম অক্ষরগুলি পর পর সাজাইয়া ইহাদের সংক্ষেপে VIBGYOR বলে।

কোনও আলোকের কিরণ হইতে এইভাবে উৎপন্ন বিভিন্ন রঙ-এর বিন্যাসকে বর্ণালী বলে।

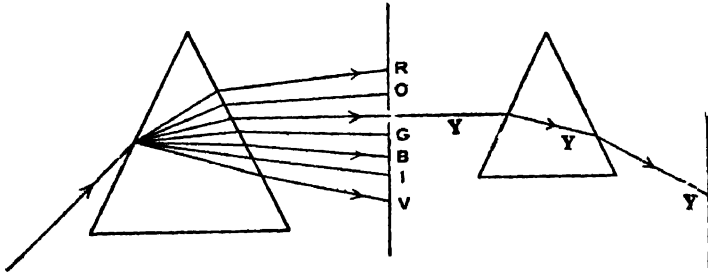
একটি কাচের উজ্জ্বল বৈদ্যুতিক আলোককে বাক্সের মধ্যে রাখিয়া ঐ বাক্সের দেওয়ালে সরু সরলরেখার আকারের একটি স্লিট (slit) লইয়াও পরীক্ষাটি করা যায়। ঐ স্লিটের পথে যে সাদা আলো বাহির হয় তাহা প্রিজ্‌মের ভিতর দিয়া প্রতিসৃত হইয়া প্রিজ্‌মের পরে রাখা সাদা পর্দায় পড়ে। ইহাতে পর্দার উপর বিস্তৃর্ণ স্থান জুড়িয়া রংগুলি দেখা যায়। এক্ষেত্রে রঙগুলি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বিন্দুর পরিবর্তে পরস্পর সংলগ্ন কয়েকটি রঙিন ডোরার আকারে দেখা যায়।

বর্ণালী উৎপত্তির কারণ: আলোকরশ্মির বায়ু হইতে কাচের প্রিজ্‌মের ভিতর দিয়া চলিবার ফলে রশ্মির অপসরণ (Deviation) হয়। প্রিজ্‌মের দুইটি প্রতিসরণ তলে প্রতিসৃত হইবার জন্যই রশ্মির এই অপসারণ হয়। সূক্ষ্ম কিরণটি যদি সাধারণভাবে অপসৃত হইত তাহা হইলে পর্দার উপর একটি বিন্দুর মতো ছোট (বা স্লিট লইলে রেখার মতো সূক্ষ্ম) একটু স্থান আলোকিত হইত। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে এক্ষেত্রে প্রতিসরণ একটু বিশেষ ধরনের হয়। **সাদা আলোক নানা রঙের আলোকের মিশ্রণ** ছাড়া কিছুই নয়। একই মাধ্যমে প্রত্যেক রঙের আলোর প্রতিসরাঙ্ক বিভিন্ন। সাদা আলোর মধ্যে যে সমস্ত বিভিন্ন রঙের রশ্মি রহিয়াছে প্রিজমের কাচে তাহাদের প্রতিসরাঙ্কও বিভিন্ন। মনে করা যাক, ABC প্রিজমের AB প্রতিসরণ তলে PQ সাদা কিরণটি আপতিত হইয়াছে। Q বিন্দুতে কাচের মধ্যে প্রতিসরণের ফলে সাদা কিরণের বিভিন্ন রঙের রশ্মিগুলি বিভিন্ন পথে অগ্রসর হয়। AC তলে নির্গত হইবার সময়েও বিভিন্ন রঙের কিরণগুলি পরস্পর হইতে আরও দূরে সরিয়া যাইবে। একই রঙের রশ্মিগুলির প্রতিসরাঙ্ক সমান সুতরাং তাহারা প্রায় একই বা সমান্তরাল পথে বাহির হইবে। ইহার ফলে বিভিন্ন রঙগুলি পরস্পর হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া পর্দার উপর বিন্যস্ত হইবে। যে রঙের প্রতিসরাঙ্ক যত বেশী, আপতিত রশ্মির পথ PQ হইতে সেই রশ্মি তত বড় কোণে অপসৃত হইবে। বেগুনী রঙের রশ্মির প্রতিসরাঙ্ক সর্বাপেক্ষা বেশী এবং লাল রঙের রশ্মির প্রতিসরাঙ্ক সর্বাপেক্ষা কম। সেইজন্য বেগুনী রং সর্বাপেক্ষা বেশী অপসৃত হইয়া একেবারে নীচে পড়ে এবং লাল

৫৮নং চিত্র: উলটা প্রিজ্‌মের দ্বারা বর্ণালী

রঙের রশ্মি সর্বাপেক্ষা উপরে পড়ে। অন্যান্য রঙের রশ্মিগুলি তাহাদের প্রতিসরাঙ্ক অনুসারে পর পর সজ্জিত হয়। অবশ্য প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ প্রান্ত A উপরের দিকে

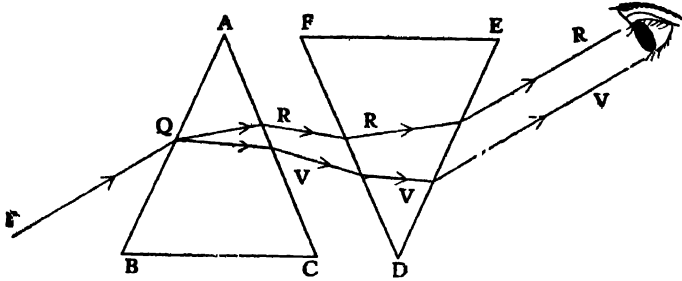
থাকিলেই এইরূপ বিন্যাস দেখা যায়। কারণ প্রিজ্‌মের যে দিকে প্রতিসরণ প্রান্ত থাকে তাহার বিপরীত দিকে রশ্মির অপসরণ হয়। যে রশ্মির অপসরণ যত বেশী তাহা প্রতিসরণ প্রান্ত হইতে ততদূরে থাকিবে। সুতরাং যদি প্রিজ্‌মটির প্রতিসরণ প্রান্ত A নীচের দিকে থাকে তাহা হইলে বর্ণালীর রঙগুলির বিন্যাসও বিপরীত হইবে, অর্থাৎ বেগুনী রঙ সকলের উপরে এবং লাল রঙ সকলের নীচে থাকিবে।

সূর্যালোক বা অন্য যে সমস্ত আলোক বিভিন্ন রঙের রশ্মির মিশ্রণে গঠিত, তাহাদের **মিশ্র আলোক** (Composite light) বলা হয়। কোনও মিশ্র আলোকের বিভিন্ন রঙের কিরণে বিভক্ত হওয়াকে ঐ কিরণের **বিচ্ছুরণ** বা **বিশ্লেষণ** (Dispersion) বলে।

বর্ণালীতে যে সাতটি রঙ দেখা যায় উহার একটি মাত্র রঙের একটি কিরণ লইয়া তাহাকে প্রিজমের মধ্যে চালিত করিলে উহার কেবল অপসরণই হইবে

৫৯নং চিত্র : একরঙা আলোকের বিচ্ছুরণ না হওয়া

বিচ্ছুরণ হইবে না। কারণ একই রঙের কিরণ বা রশ্মিগুচ্ছের বিভিন্ন রশ্মির প্রতিসরণ সমান হইবে এবং পর্দার উপর ঐ একই রঙের আলোক পড়িবে। একটি পরীক্ষার দ্বারা ইহা প্রমাণ করা যায়। যে পর্দার উপর বর্ণালী পড়িয়াছে উহার একস্থানে ছোট ছিদ্র করিয়া একটি মাত্র রঙের কিরণকে পর্দার পিছনে লইয়া আর একটি প্রিজ্‌মের ভিতর দিয়া প্রতিসৃত করা হইল। প্রতিসৃত রশ্মিতে কোনও বিচ্ছুরণ দেখা যাইবে না। অর্থাৎ যে রঙের রশ্মি ছিদ্রপথে লওয়া হইয়াছে দ্বিতীয় প্রিজ্‌ম হইতে বাহির হইয়াও উহার সেই রঙই থাকিবে।

বর্ণালীর রঙগুলির মিশ্রণে সাদা রঙের উৎপত্তি : সূর্যালোককে বিশ্লেষণ করিয়া দেখান হইল উহার মধ্যে বর্ণালীর সাতটি রঙ আছে। আবার বর্ণালীর ঐ সাতটি রঙকে একত্রে করিয়া সাদা আলোকে সংশ্লেষণও করা যাইতে পারে। ABC ও DEF দুইটি প্রিজ্‌ম একই প্রকারের কাচে প্রস্তুত ও একই প্রতিসরণ কোনবিশিষ্ট। অর্থাৎ $\angle A$ ও $\angle D$ পরস্পর সমান। প্রিজ্‌ম দুইটির কোণগুলি বিপরীত দিকে ও দুইটি প্রতিসরণ তল-সংলগ্ন বা সামান্তরাল করিয়া রাখা হইল। PQ সাদা কিরণটি প্রথম প্রিজ্‌মের

উপর পড়িয়া বার্ণালীর সাতটি রঙে বিচ্ছুরিত হইবে। কিন্তু ঐ রশ্মিগুলি আবার বিপরীতভাবে রাখা দ্বিতীয় প্রিজ্‌মের ভিতর দিয়া চলিয়া পরস্পর

৬০নং চিত্র : বিচ্ছুরিত রঙগুলির মিশ্রণে সাদা রঙের উৎপত্তি

সমান্তরাল হইয়া নির্গত হয়। খুব কাছাকাছি সাত রঙের ঐ রশ্মিগুলি চোখে পড়িলে সাদা আলোর অনুভূতি উৎপন্ন হয়।

নিউটনের বর্ণালীচক্র (Newton's Colour Disc) : বর্ণালীর রঙগুলির মিশ্রণে সাদা রঙের উৎপত্তির ইহা অন্য একটি উপায়। এই পরীক্ষাটির উদ্ভাবক বিশ্ববিখ্যাত বিজ্ঞানী নিউটন। কার্ডবোর্ড বা ধাতব পাতের একটি চক্রকে প্রথমে কতকগুলি বৃত্তকলায় (Sector-এ) ভাগ করিতে হইবে। বৃত্তকলার সংখ্যা বর্ণালীর রঙের সংখ্যা 7 বা উহার গুণিতক (14 বা 21) হইবে। এখন বৃত্তকলাগুলি পর পর বর্ণালীর সাতটি রঙ দ্বারা রঞ্জিত করিতে হইবে। এইভাবে চক্রটি প্রস্তুত করিয়া উহাকে জোরে ঘুরাইতে হইবে। প্রথমে যখন ঘুরাইবার দ্রুততা কম তখন রঙগুলি পৃথকভাবে দেখা যাইবে। কিন্তু ঘূর্ণনের দ্রুততা যথেষ্ট বাড়িলে চক্রটিকে সাদা বলিয়া মনে হইবে।

৬১নং চিত্র : নিউটনের বর্ণালীচক্র

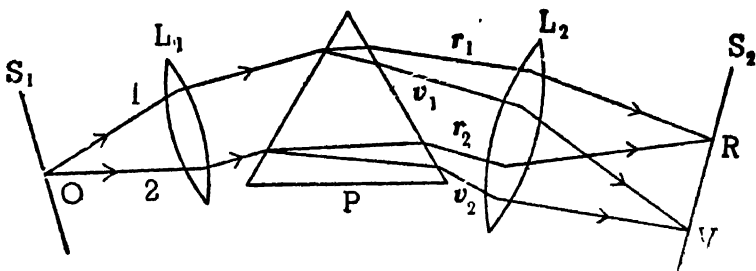
কোনও বস্তু হইতে আমাদের চোখে আলোক পড়িলে উহা আমাদের দৃষ্টিগোচর হয়, আবার ঐ আলোক অন্তর্হিত হইলে বস্তুটির অদৃশ্য হয়। কিন্তু আলোক অন্তর্হিত হওয়া মাত্রই বস্তুটি অদৃশ্য হয় না। এক সেকেণ্ডের এক দশাংশের মতো ($\frac{1}{10}$ সেকেণ্ডের মতো) সময়ের জন্য ঐ বস্তুর ছবি আমাদের দর্শনেন্দ্রিয়ে থাকিয়া যায় ইহাকে **দৃষ্টি-রেশ** (Persistence of Vision) বলে।

নিউটনের বর্ণালী চক্রটি যখন ধীরে ঘুরান হয় তখন উহার রঙগুলি এত ধীরে ধীরে অপসারিত হয় যে একটি রঙকে দেখিবার সময় তাহার পূর্বের

রঙগুলির ছবি আর দর্শনেন্দ্রিয়ে থাকে না। তাহার ফলে রঙগুলিকে পৃথক-ভাবে দেখা সম্ভব নয়। কিন্তু যখন চক্রটি দ্রুতবেগে ঘুরিতে থাকে, তখন বর্ণালীর বিভিন্ন রঙের বৃত্তকলাগুলিও দ্রুতবেগে চোখের সম্মুখ হইতে সরিয়া যাইতে থাকে। তাহার ফলে অনেকগুলি রঙের দৃষ্টিরেশ থাকিতে থাকিতেই অপর একটি রঙ দৃষ্টিপথে পড়ে। এইরূপে সাতটি রঙের দর্শানুভূতি একসঙ্গে হইলে সাদা রঙের অনুভূতি জন্মায়।

অশুদ্ধ ও শুদ্ধ বর্ণালী

[Impure and Pure spectrum]

একটি আলোকের কিরণ প্রিজ্‌মের ভিতর দিয়া প্রতিসৃত হইলে শাদা আলোক বিভিন্ন রঙে বিচ্ছুরিত হয় এবং বর্ণালীর উৎপত্তি হয়। কিন্তু এইরূপে উৎপন্ন বর্ণালীর রঙগুলি স্পষ্ট ও পরস্পর বিচ্ছিন্নভাবে দেখা যায় না। ইহার কারণ, সাদা কিরণটি যত সূক্ষ্মই হোক উহা কতকগুলি রশ্মি লইয়া গঠিত। প্রত্যেকটি রশ্মির জন্য একটি করিয়া বর্ণালী উৎপন্ন হইবে এবং বর্ণালীগুলি উপর্যুপরি পড়ায় অস্পষ্ট হইবে। এইরূপ অস্পষ্ট ও উপর্যুপরি পতিত (overlapped) বর্ণালীকে অশুদ্ধ বর্ণালী বলে। বর্ণালীর রঙগুলি স্পষ্ট ও পরস্পর বিচ্ছিন্ন দেখা গেলে উহাকে শুদ্ধ বর্ণালী বলে।

৬২নং চিত্র : শুদ্ধবর্ণালী নির্ণয়ের প্রণালী

শুদ্ধ বর্ণালী উৎপাদন (Production of a pure spectrum): শুদ্ধ বর্ণালী উৎপাদন করিতে হইলে একটি সরু স্লিট (slit) S_1 এর ভিতর দিয়া একটি সূক্ষ্ম শাদা আলোকের কিরণ লইতে হয়। 1 ও 2 চিহ্নিত রশ্মি দুইটি ঐ কিরণের দুই প্রান্তে অবস্থিত। L_1 লেন্সটির দ্বারা ঐ কিরণকে সমান্তরাল কিরণে পরিণত করা হয়। কিরণটি প্রিজ্‌মের উপর প্রতি-সমভাবে (symmetrically) আপতিত হওয়া প্রয়োজন। অর্থাৎ এমন-ভাবে প্রিজ্‌মের উপর কিরণটি পড়িবে যে উহার আপতন কোণটি নিষ্ক্রমণ কোণের (angle of emergence) সহিত সমান হইবে। এখন প্রিজ্‌ম হইতে নিষ্ক্রান্ত হইবার পর যে কোনও একটি রঙএর রশ্মিগুলি সমান্তরাল পথে অগ্রসর হইবে। (যেমন চিত্রে লাল-রশ্মি r_1 ও r_2 এবং বেগুনী

রশ্মি v_1 ও v_2)। ঐ রশ্মিগুলির পথে দ্বিতীয় একটি লেন্‌স L_2 রাখিয়া উহার ফোকাসের অবস্থানে S_2 পর্দাটি রাখিলে পর্দার উপর প্রত্যেকটি রঙ-এর রশ্মির জন্য একটি করিয়া সরু রেখা দেখা যাইবে। এইভাবে পর্দার উপর একটি শুদ্ধ বর্ণালী উৎপন্ন হইবে।

রামধনু (Rainbow) ঃ রামধনু বা ইন্দ্রধনু একটি রমণীয় প্রাকৃতিক দৃশ্য। বৃষ্টি হইবার ঠিক পরেই সূর্য উঠিলে অথবা গুঁড়ি গুঁড়ি বৃষ্টি হইবার সময়ে আকাশে সূর্যালোক থাকিলে রামধনু দেখা যায়। ইহাতে আকাশে বৃত্ত বা মেখলার (belt) আকারে পাশাপাশি বর্ণালীর সাতটি রঙ সাজান

৬৩নং চিত্র : রামধনু (O বিন্দু দর্শকের অবস্থান)

থাকে। কখনও বা নীচে একটি উজ্জ্বল রামধনু এবং তাহার উপরে একটু বড় এবং অপেক্ষাকৃত কম উজ্জ্বল রামধনু দেখা যায়। রামধনু সৃষ্টি হইবার জন্য সর্বদা যে বৃষ্টি হওয়ারই প্রয়োজন হয় তাহা নহে। কোনও কোনও সময়ে জলপ্রপাত হইতে যে সমস্ত জলকণা উপরে উৎক্ষিপ্ত হয় তাহার উপরে সূর্যালোক পড়িলেও রামধনু দেখা যায়। আবার পিচকারি হইতে ফোয়ারার আকারে উপরে জল নিক্ষেপ করিলে তাহার উপর সূর্যালোক পড়িয়াও ক্ষণস্থায়ী রামধনুর সৃষ্টি হইতে পারে। খোলা ও রৌদ্রমুক্ত স্থানে দাঁড়াইয়া মুখ ধুইবার সময়ে মুখ হইতে জোরে ফোয়ারার আকারে জল ফেলিয়া ক্ষণস্থায়ী রামধনু দেখা ছোট ছেলেদের একটি প্রিয় খেলা।

সুতরাং দেখা যাইতেছে, ছোট ছোট জলের ফোঁটার উপর সূর্যালোক পড়িলেই রামধনু গঠিত হইবার সম্ভাবনা হয়। জলের ফোঁটার মধ্যে প্রতিসরণ ও প্রতিফলন হওয়ার জন্য সূর্যালোকের বিচ্ছুরণ হয় এবং তাহার ফলে বর্ণালীর রঙগুলি রামধনুর মধ্যে দেখা যায়।

বিভিন্ন অস্বচ্ছ বস্তুর গাত্রবর্ণ : আমরা চারিদিকে যে বিভিন্ন রঙের বস্তু দেখিতে পাই, উহাদের ঐ সকল রঙের কারণ এখন সংক্ষেপে বলা যাইতে পারে। উদাহরণস্বরূপ একটি লাল কাপড় বা লাল ফুলকে লাল দেখায় কেন ? ঐ বস্তুর উপরিতল বা গাত্রে বর্ণালীর লাল আলো ব্যতীত অন্য সবগুলি রঙের আলো শোষিত হয়, এবং কেবল লাল আলোর বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন (diffused

reflection) হয়। তাহার ফলে ঐ বস্তুর গাত্রবর্ণ লাল দেখায়। এইরূপ কোনও বেগুনী রঙের বস্তুর গাত্র বেগুনী ভিন্ন অন্য সমস্ত রঙগুলিকে শোষণ করে, হলুদ রঙের বস্তু হলুদ ভিন্ন অন্য রঙগুলিকে শোষণ করে ইত্যাদি। যে বস্তুর রঙ কালো, তাহা বর্ণালীর সবগুলি রঙের আলোক শোষণ করে। অতএব যে বস্তুর গাত্রে কোনও রঙই প্রতিফলিত হয় না তাহাকে কালো দেখায়। অথবা আলোর অভাবকেই কালো বলা হয়। কোনও বস্তুর গাত্র হইতে সাতটি রঙই প্রতিফলিত হইলে তাহাকে সাদা দেখায়। বর্ণালীর সাতটি রঙ ব্যতীত অন্য রঙের বস্তুও আমরা দেখিতে পাই। ইহারা মিশ্র রঙ, অর্থাৎ বর্ণালীর একাধিক রঙের মিশ্রণে উৎপন্ন।

এখন যদি প্রশ্ন করা যায়, 'একটি লাল ফুলকে অন্ধকার ঘরে নীল আলোকে দেখিলে কিরূপ দেখা যাইবে?' লাল ফুলটির গাত্রে বর্ণালীর লাল ব্যতীত অন্য সমস্ত আলোক শোষিত হয়, সুতরাং নীল আলোকও উহা দ্বারা শোষিত হইবে। কিন্তু ফুলটিকে কেবল নীল আলোক দ্বারাই আলোকিত করা হইতেছে। সুতরাং নীল আলোকও শোষিত হওয়ায় বস্তুটির গাত্র হইতে কোনও রঙ-ই প্রতিফলিত হইতেছে না। এইজন্য উহাকে কালো দেখাইবে।

সারাংশ

ত্রিভুজাকৃতি প্রিজ্‌ম বা **প্রিজ্‌ম** (Prism) আগাগোড়া সমান ও ত্রিভুজাকার প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট একটি বস্তু। এইরূপ একটি কাচের প্রিজ্‌মের কোনও তলে একটি আলোকরশ্মি আপতিত হইলে প্রিজ্‌মের মধ্যে প্রতিসরণের ফলে উহা পূর্বের পথ হইতে ঘুরিয়া যায়; আপতিত ও প্রিজ্‌ম হইতে নির্গত রশ্মির মধ্যে যে কোণ উৎপন্ন হয় তাহাকে ঐ রশ্মির **অপসারণ** বা **চ্যুতিকোণ** (Deviation) বলে।

বর্ণালী (Spectrum): সূর্যালোক বা অন্য কোনও উৎস হইতে সাদা ও সূক্ষ্ম আলোকের কিরণ প্রিজ্‌মের ভিতর দিয়া প্রতিসৃত হইলে নির্গত কিরণে রামধনুর সাতটি বিভিন্ন রঙকে পর পর বিন্যস্ত দেখা যায়। ইহাকে বর্ণালী বলে। বর্ণালীর রঙগুলি বেগুনী (Violet), বেগুনী-নীল (Indigo), নীল (Blue), সবুজ (Green), হলুদ (Yellow), কমলা (Orange) ও লাল (Red)। ইহাদের সংক্ষেপে VIBGYOR বলে। প্রিজ্‌মের ভূমির দিকে বর্ণালীর বেগুনী এবং শীর্ষের দিকে লাল রঙ থাকে।

সাদা আলো বা সূর্যরশ্মি নানা রঙের আলোর সংমিশ্রণে উৎপন্ন। একই মাধ্যমে বিভিন্ন রঙের রশ্মির প্রতিসরাঙ্ক বিভিন্ন। প্রত্যেক রঙের রশ্মি উহার প্রতিসরাঙ্ক অনুসারে প্রিজ্‌মের দ্বারা অপসৃত (Deviated) হওয়ার জন্যই বিভিন্ন রঙগুলির বিচ্ছুরণ (Dispersion) হইয়া বর্ণালী উৎপন্ন হয়।

একই উপাদানে গঠিত এবং একই আয়তনের (অর্থাৎ একই কোণবিশিষ্ট) অপর একটি প্রিজ্‌মকে প্রথম প্রিজ্‌মের ঠিক পরে উলটাভাবে রাখিলে বর্ণালীর

রঙগুলি আবার সংশ্লিষ্ট হইয়া সাদা আলো উৎপন্ন হয়। তাহা ছাড়া, **নিউটনের উদ্ভাবিত বর্ণালীচক্র** অর্থাৎ বর্ণালীর রংগুলি দ্বারা রঞ্জিত বৃত্তকলাবিশিষ্ট একটি চক্রকে জোরে ঘুরাইলে সবগুলি রঙ মিলিয়া চক্রটি সাদা বলিয়া চোখে অনুভূতি জন্মায়। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় সাদা আলোক প্রকৃতপক্ষে বিভিন্ন রঙের আলো দ্বারা গঠিত।

রামধনুতে যে বর্ণালীর রঙগুলি দেখা যায় উহারও কারণ সাদা সূর্যরশ্মির বিচ্ছুরণ। আকাশে ভাসমান জলবিন্দুগুলির ভিতর দিয়া বিভিন্ন রঙের আলোক রশ্মির বিভিন্ন অপসরণের (Deviation-এর) জন্য রামধনুর রঙগুলিকে দেখা যায়।

কোনও বস্তুর যাহা গাত্রবর্ণ (Surface colour) ঐ বস্তু বর্ণালীর মধ্যে কেবল সেই রঙের আলোক প্রতিফলিত করিয়া অন্যান্য রঙের আলোককে শোষণ করে। ঐ প্রতিফলিত আলোকের রঙই বস্তুটির গাত্রবর্ণ বলিয়া মনে হয়।

অনুশীলনী

1. *Explain with a diagram how light rays are deviated through a prism.*

2. *What is a spectrum? How can it be produced? Explain how out of white light, all the different colours are produded?*

3. *'White light is made up of the seven colours of the spectrum or the rainbow.—Describe two experiments in support of this statement.*

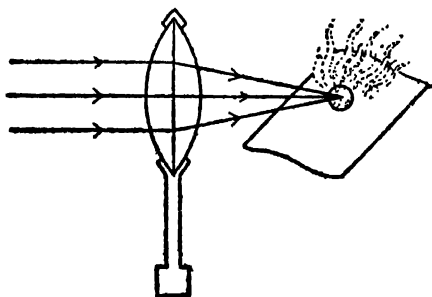
4. *Describe and explain the use of Newton's Colour Disc. What information about light can be obtained from this instrument? Write in brief what you know about the origin of colour in the rainbow.*

5. *Explain with a diagram of pure and impure spectrums. Describe a simple experiment for obtaining pure spectrum.*

6. *Why does a red flower appear red? How will it look in blue light in a dark room? Give reasons for your answer.*

পঞ্চম অধ্যায়

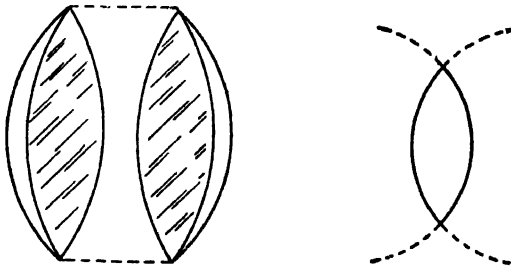
লেন্‌স
[Lens]

পরীক্ষা : বীক্ষণ কাচ (Magnifying glass) বা আতশী কাচ বস্তুটি আমাদের খুব অপরিচিত নহে। খুব ছোট বা অস্পষ্ট লেখা পড়িবার জন্য ইহা ব্যবহৃত হয়। ইহা দ্বারা ছোট বস্তু বড় দেখায়। যে সমস্ত ছোট জিনিস খালি চোখে দেখা যায় না বা স্পষ্ট দেখা যায় না, বীক্ষণ কাচের ভিতর দিয়া দেখিলে সেই সকল জিনিস বড় এবং স্পষ্ট দেখা যায়। যেমন, আমাদের ত্বকের উপরের রোমকূপগুলি আমরা খালি চোখে দেখিতে পাই না। কিন্তু বীক্ষণ-কাচ দিয়া উহাদের দেখা যায়। গরদের কাপড়ের তন্তুগুলি এত ঠাসবুননে বোনা থাকে যে উহাদের খালি চোখে দেখা যায় না। কিন্তু বীক্ষণ কাচের ভিতর দিয়া দেখিলে উহাদের জালের মতো বুনন স্পষ্ট দেখা যায়।

৬৪নং চিত্র : আতশী কাচ

একটি বীক্ষণ কাচ লইয়া সূর্যালোকে ধরিলে সূর্য-কিরণের রশ্মিগুলি কাচের ভিতর দিয়া গিয়া অপর দিকে একটি বিন্দুতে মিলিত হয়। ঐ বিন্দুতে একখানি কাগজ ধরিলে কাগজখানি কয়েক সেকেণ্ডের মধ্যে জ্বালিয়া উঠে। অতএব বীক্ষণ কাচের অপপ একটি কাজ হইল সূর্যরশ্মিকে কেন্দ্রীভূত করিয়া আগুন জ্বালান; এইজন্য বীক্ষণ কাচের অপর নাম **আতশী কাচ**। 'আতশ' একটি ফারসী শব্দ—ইহার অর্থ আগুন।

বীক্ষণ কাচের গঠন : বীক্ষণ কাচের গঠন বৃত্তাকার এবং ইহার মাঝখান পুরু ও কিনারার দিকে ক্রমশঃ পাতলা হইয়া গিয়াছে। অর্থাৎ বীক্ষণ কাচের দুই দিকের তল দুইটি বর্তুলাকার বা গোলকাকার (Spherical)। দুইটি গোলক হইতে দুইটি টুকরা কাটিয়া যেন উহাদের কর্তিত তলে জুড়িয়া দেওয়া হইয়াছে।

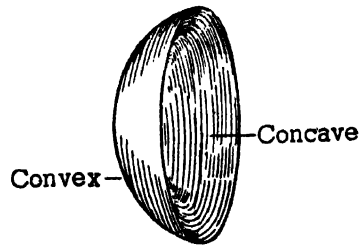
বীক্ষণ কাচের এক দিকের তলে আলোকের কিরণ পড়িলে তাহা কাচের ভিতর দিয়া প্রতিসৃত হইয়া বিপরীত দিকের তলে নির্গত হয়। তাহার ফলে কোনও বস্তুর বৃহত্তর বিম্ব (image) গঠিত হয়। এইরূপে বস্তুটিকে বড় দেখায়। আবার সমান্তরাল সূর্যকিরণ কাচের মধ্য প্রতিসরণের ফলে অভিসারী (conver-

ging) কিরণে পরিণত হয়। ঐগুলি বিপরীত দিকে যে বিন্দুতে মিলিত হয় সেখানে তাপ কেন্দ্রীভূত হওয়ায় কাগজ বা অন্য দাহ্যবস্তু জ্বলিয়া উঠে।

৬৫ক ও ৬৫খ নং চিত্র : বীক্ষণ কাচের গঠন

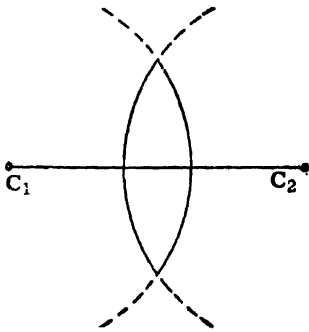
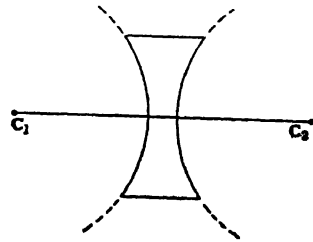
লেন্‌স

বীক্ষণ কাচ প্রকৃতপক্ষে এক প্রকারের লেন্‌স। **একটি বা দুইটি বক্র তলের দ্বারা বেষ্টিত কোনও স্বচ্ছ মাধ্যমের ক্ষুদ্র অংশকে লেন্‌স বলে।** বীক্ষণ কাচের উপাদান কাচ একটি স্বচ্ছ মাধ্যম, এবং উভয় দিকে দুইটি গোলকাকার তলের দ্বারা উহা বেষ্টিত।

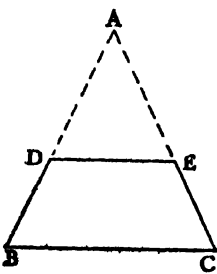
বেষ্টনকারী তলের আকার অনুসারে লেন্‌স নানাপ্রকার গঠনের হইতে পারে। আমরা কেবল দুইটি গোলকাকার তলবিশিষ্ট লেন্‌সের বিষয় আলোচনা করিব।

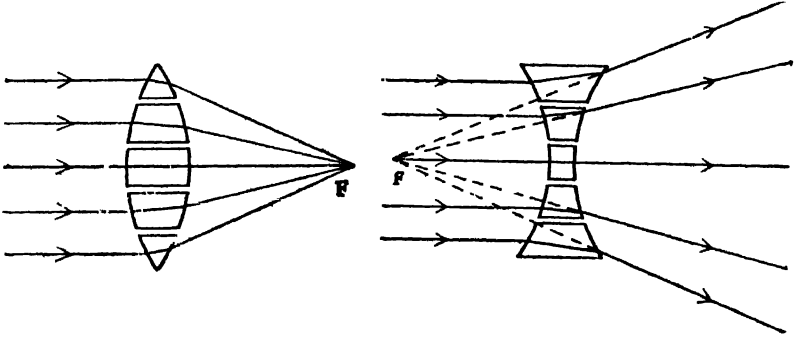
গোলকাকার তলবিশিষ্ট লেন্‌স : লেন্‌সের বক্রতল **উত্তল** বা **অবতল** আকারের হইতে পারে। কোনও তল কিনারা অপেক্ষা মাঝখানে উন্নত বা ফোলা হইলে তাহাকে **উত্তল** convex বলে। আর যদি কোনও তল কিনারায় তুলনায় মাঝখানে অবনত বা চাপা হয়, উহাকে অবতল (concave) বলে। একটি বাটি বা কড়াইয়ের বাহিরের দিকের তলকে উত্তল এবং ভিতরের দিকের তলকে অবতল বলা যায়। একটি ফাঁপা বলের টুকরা কাটিয়া লইলেও তাহার বাহিরের তলটি উত্তল ও ভিতরের তলটি অবতল হইবে। কোনও লেন্‌সের উভয় তলই উত্তল হইলে তাহাকে **উভোত্তল** (biconvex) **লেন্‌স** বা শুধু **উত্তল** (convex) **লেন্‌স** বলে। পূর্বে যে বীক্ষণ বা আতশী কাচের কথা বলা হইয়াছে তাহা একটি উত্তল লেন্‌স।

৬৬নং চিত্র : উত্তল ও অবতল আকারের তল

কোনও লেন্‌সের উভয় তলই অবতল হইলে তাহাকে **উভাবতল** (biconcave) লেন্‌স বা কেবল **অবতল** (concave) **লেন্‌স** বলা হয়।

উত্তল বা অবতল লেন্সের উভয় বক্রতলই দুইটি গোলকাকার তলের অংশ। চিত্রে ভাঙা রেখার দ্বারা ঐ দুইটি গোলকাকার তলের কিছুটা বৃহত্তর অংশ দেখান হইয়াছে। এই দুইটি গোলকাকার তলের ব্যাসার্ধ যে সর্বদা সমান হইবে এমন

৬৭ক নং চিত্র : উত্তল লেন্সের গঠন　　৬৭খ নং চিত্র : অবতল লেন্সের গঠন

কোনও নিয়ম নাই। উহারা অসমানও হইতে পারে। সমান ব্যাসার্ধ [অথবা সমান বক্রতা (curvature)]-বিশিষ্ট দুইটি তলের দ্বারা বেষ্টিত লেন্সকে সম-উত্তল (Equiconvex) লেন্স বা সমাবতল (Equicconave) লেন্স বলা হয়।

প্রধান অক্ষ বা অক্ষ (Principal axis) : কোনও লেন্সের দুইটি বক্রতলের কেন্দ্র বিন্দুদ্বয়ের সংযোগকারী সরলরেখাকে ঐ লেন্সের প্রধান অক্ষ বা শুধু অক্ষ বলা হয়। ৬৭নং চিত্রে C_1C_2 রেখাটি লেন্সের অক্ষ।

লেন্সের ভিতর আলোকরশ্মির প্রতিসরণ : কোনও লেন্সকে প্রকৃতপক্ষে কতকগুলি ছোট ছোট প্রিজ্‌মের টুকরা জোড়া লাগাইয়া প্রস্তুত মনে করা যাইতে পারে। প্রিজ্‌মগুলি অবশ্য কর্তিত (Truncated) প্রিজ্‌ম বা মাথার দিকে কাটা প্রিজ্‌ম। ৬৮নং চিত্রে ABC প্রিজ্‌মটিকে DE রেখা বরাবর কাটিয়া DBCE কর্তিত প্রিজ্‌মটি পাওয়া গিয়াছে। উত্তল লেন্সে প্রিজ্‌মগুলির ভূমি অক্ষের দিকে এবং অক্ষের উপরের অংশের প্রিজ্‌ম-গুলির শীর্ষ উপরের দিকে এবং নীচের অংশের প্রিজ্‌মগুলির শীর্ষ নীচের দিকে থাকে। আর অবতল লেন্সে প্রিজ্‌মগুলির শীর্ষ অক্ষের দিকে, অক্ষের উপরের অংশের প্রিজ্‌মগুলির ভূমি উপরের দিকে এবং নীচের অংশের প্রিজ্‌মগুলির ভূমি নীচের দিকে থাকে। কিন্তু প্রিজ্‌মের মধ্যে কোনও আলোকরশ্মির প্রতিসরণ হইলে উহা সর্বদা ভূমির দিকে বাঁকিয়া যায় বা অপসৃত (deviated) হয়। সুতরাং একটি সমান্তরাল কিরণ প্রিজ্‌মের এক পার্শ্বে আপতিত হইলে অপর পার্শ্বে নির্গত রশ্মিগুলির পথ এখন অনুসরণ করা যাইতে পারে।

৬৮নং চিত্র : কর্তিত প্রিজ্‌ম

লেন্সের গঠন হইতে অনুমান করা যাইবে, যে ছোট প্রিজ্‌মগুলির কথা বলা হইল উহাদের শীর্ষকোণ সমান নহে। মাঝখানের প্রিজ্‌মটির শীর্ষকোণ খুব ছোট, প্রকৃতপক্ষে উহাকে সমান্তরাল প্লেটের মতো মনে করা যাইতে পারে। সুতরাং উহার ভিতর দিয়া প্রতিসৃত রশ্মি প্রায় পূর্বের পথেই বাহির হইবে। কিন্তু উপরের ও নীচের রশ্মিগুলি প্রিজ্‌মের ভূমির দিকে বাঁকিয়া যাইবে। উপরের

৬৯ক নং চিত্র : উত্তল লেন্সের প্রতিসরণ ৬৯খ নং চিত্র : অবতল লেন্সের প্রতিসরণ

ও নীচের দিকে প্রিজ্‌মগুলির শীর্ষকোণ ক্রমশ বড় হইয়া গিয়াছে। সুতরাং অক্ষ হইতে যত কিনারার দিকে যাওয়া যাইবে ততই রশ্মিগুলির পূর্বের পথ হইতে বেশী বাঁকিয়া যাইবে।

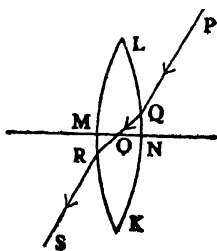
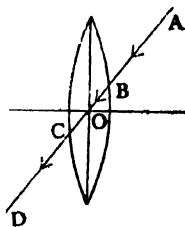
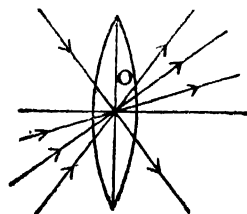
উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে রশ্মিগুলি চারিদিক হইতে অক্ষের দিকে কেন্দ্রীভূত হইয়া একটি অভিসারী (converging) কিরণের সৃষ্টি করিবে। সূর্যালোকের দিকে একটি উত্তল লেন্স ধরিলে দেখা যায় সূর্যের সমান্তরাল রশ্মিগুলি লেন্সের দ্বারা প্রতিসৃত হইয়া উহার বিপরীত দিকে একটি বিন্দুতে মিলিত হয়। সাধারণত ঐ বিন্দুটি অক্ষের উপরে পড়ে না, উহার বাহিরেই পড়ে। এইরূপ বিন্দুকে ফোকাস (Focus) বলা যাইতে পারে। কিন্তু যদি সমান্তরাল কিরণের রশ্মিগুলি অক্ষের সহিত সমান্তরাল হয় তাহা হইলে ঐ বিন্দুটি সর্বদা অক্ষের উপর অবস্থিত একটি নির্দিষ্ট বিন্দু হইয়া থাকে (৬৯ক নং চিত্রে F বিন্দু)। এই বিন্দুটিকে **মূল ফোকাস** (Principal Focus) বলে। সুতরাং উত্তল লেন্সের মূল ফোকাসের এইরূপ সংজ্ঞা নির্দেশ করা যাইতে পারে :

সংজ্ঞা : কোনও উত্তল লেন্সের অক্ষের সহিত সমান্তরাল একটি সমান্তরাল কিরণ ঐ লেন্সের ভিতর দিয়া প্রতিসরণের ফলে উহার বিপরীত দিকে অক্ষের উপর যে বিন্দুতে মিলিত হয়, তাহাকে ঐ লেন্সের মূল ফোকাস বলে। মূল ফোকাসকে সাধারণত শুধু **ফোকাস**ও বলা হয়।

উত্তল লেন্সের মধ্যে প্রতিসরণের ফলে রশ্মিগুলি কেন্দ্রীভূত হয়, এইজন্য উত্তল লেন্সকে **অভিসারী লেন্স** (Converging lens) বলে।

কোনও অবতল লেন্সের উপর উহার অক্ষের সহিত সমান্তরাল কিরণ আপতিত হইলে উহা লেন্সের মধ্যে প্রতিসরণের ফলে অক্ষ হইতে অপসৃত

হইবে এবং একটি অপসারী কিরণে (Diverging beam-এ) পরিণত হইবে এই অপসারী কিরণ লেন্‌সের আপতন পার্শ্বে (অর্থাৎ যে দিকে কিরণটি আপতিত হইয়াছে সেই দিকে) অক্ষের উপর একটি নির্দিষ্ট বিন্দু হইতে বাহির হইয়া আসিতেছে বলিয়া মনে হইবে। ঐ নির্দিষ্ট বিন্দুকে অবতল লেন্‌সটির **মুল ফোকাস** বা শুধু ফোকাস (৬৯ খ নং চিত্রে F বিন্দু) বলা হয়।

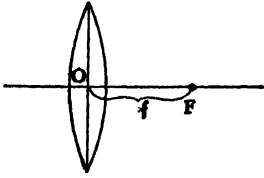
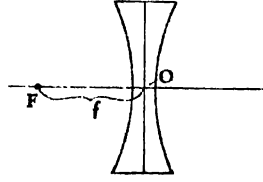
লেন্‌স-কেন্দ্র (Optical centre) : প্রত্যেক লেন্‌সের মধ্যে অক্ষের উপর একটি নির্দিষ্ট বিন্দু থাকে যে বিন্দুর ভিতর দিয়া কোনও রশ্মি গমন করিলে উহা লেন্‌সের ভিতর প্রতিসরণের পরেও পূর্বের সহিত সমান্তরাল পথে নির্গত হয় (অর্থাৎ রশ্মিটির কোনও অপসরণ হয় না) ঐ নির্দিষ্ট বিন্দুটিকে লেন্‌সের লেন্‌স-কেন্দ্র বলা হয়। ৭০ক নং চিত্রে PQ আপতিত রশ্মিটি লেন্সের অক্ষকে O বিন্দুতে ছেদ করিয়া PQএর সহিত সমান্তরাল RS রেখায় বাহির হইয়াছে। সুতরাং, O বিন্দুটি লেন্‌স-কেন্দ্র। অপর যে কোনও রশ্মি যদি লেন্সের ভিতর প্রতিসৃত হইয়া পূর্বের সহিত সমান্তরাল পথে নির্গত হয় তাহাও O বিন্দুর ভিতর

৭০ক নং চিত্র ৭০খ নং চিত্র ৭০গ নং চিত্র

লেন্‌স-কেন্দ্র ও লেন্‌স-কেন্দ্রগামী রশ্মি

দিয়া যাইবে। লেন্‌সটি পাতলা (thin) হইলে PQ ও RS রেখাদ্বয়কে প্রকৃতপক্ষে একই সরলরেখা মনে করা যাইতে পারে। অর্থাৎ কোনও রশ্মি একটা পাতলা লেন্সের মধ্যে উহার লেন্‌স-কেন্দ্র অভিমুখী হইলে উহা একই সরলরেখায় নির্গত হয়—সাধারণভাবে ইহা ধরিয়া লওয়া যাইতে পারে। ৭০খ নং চিত্রে ABOCD সরলরেখাটি এইরূপ একটি রশ্মির পথ নির্দেশ করিতেছে। ৭০ গনং চিত্রে লেন্‌স-কেন্দ্রগামী অনেকগুলি রশ্মি আঁকিয়া দেখান হইয়াছে।

সাধারণ সম-উত্তল (Equiconvex) বা সমাবতল (Equiconcave) লেন্‌সের ক্ষেত্রে লেন্‌স-কেন্দ্র লেন্সের মধ্যে অবস্থিত অক্ষের অংশটুকুকে ঠিক সমদ্বিখণ্ডিত করে। অর্থাৎ, ৭০ক নং চিত্রে, O বিন্দু MN রেখার মধ্যবিন্দু। সুতরাং KL রেখা বরাবর অক্ষের সহিত লম্বভাবে একটি তল কল্পনা করিলে উহার সহিত অক্ষের ছেদবিন্দুটিই লেন্‌স কেন্দ্র হইবে।

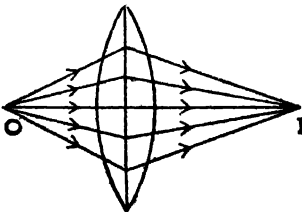
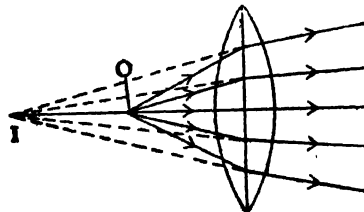
ফোকাসীয় দূরত্ব (Focal length) : কোনও লেন্‌সের মুখ্য ফোকাস সর্বদা ঐ লেন্সের অক্ষের উপর একটি নির্দিষ্ট বিন্দু। আবার

লেন্‌স-কেন্দ্রও অক্ষের উপর লেনসের একটি নির্দিষ্ট বিন্দু। অতএব লেন্‌স কেন্দ্র হইতে মূল ফোকাস পর্যন্ত দূরত্বও কোনও লেনসের ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট। এই দূরত্বকে লেন্‌সটির ফোকাসীয় দূরত্ব বলে। অতএব, **কোনও লেন্‌সের লেন্‌স-কেন্দ্র হইতে মূল ফোকাস পর্যন্ত দূরত্বকে ঐ লেন্‌সের ফোকাসীয় দূরত্ব**

৭১ক নং চিত্র ৭১খ নং চিত্র
উত্তল ও অবতল লেন্‌সের ফোকাসীয় দূরত্ব

বলে। ৭১নং চিত্রে OF ফোকাসীয় দূরত্ব। সাধারণত মূল ফোকাসকে 'F' অক্ষর দ্বারা এবং ফোকাসীয় দূরত্বকে f অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। লেন্‌সটি পাতলা হইলে উহার বাহিরের তলের মধ্যবিন্দু হইতে ফোকাসের দূরত্বকে মোটামুটি ভাবে ফোকাসীয় দূরত্ব ধরা যাইতে পারে।

লেন্‌সের দ্বারা বিম্ব গঠন
[Image foamation by a lens]

লেন্‌সের দ্বারা গঠিত বিম্ব খুব সহজেই দেখা যাইতে পারে। এই জন্য একটি উত্তল লেন্‌সও একটি সাদা কাগজ হইলেই চলিবে। ঘরের জানালার কাছে কাগজখানি একটি কাঠের ফ্রেমে পর্দার মতো আঁটিয়া টেবিলের উপর দাঁড় করাইয়া রাখিতে হইবে। এখন পর্দার কিছু দূরে লেন্‌সটিকে ধরিলে বাহিরের কোনও দূরবর্তী বস্তুর অস্পষ্ট বিম্ব পর্দার উপর পড়িবে। তারপর লেন্‌সটিকে পর্দা হইতে কাছে বা দূরে প্রয়োজন মত সরাইলে বিম্বটি স্পষ্ট হইয়া উঠিবে। দেখা যাইবে বিম্বটি অবশীর্ষ (inverted) বা উলটাভাবে পড়িয়াছে, অর্থাৎ মূল বস্তুর উপরের অংশ বিম্বে নীচের দিকে এবং নীচের অংশ উপরের দিকে পড়িয়াছে। বিম্বটির আকারও অবশ্য মূলবস্তু হইতে অনেক ছোট।

বিন্দু বস্তুর বিম্ব (Image of a point object)**ঃ** বস্তুটির একটি

৭২ক নং চিত্র : লেন্‌সের দ্বারা সদ্‌বিম্ব ৭২খ নং চিত্র : লেন্‌সের দ্বারা অসদ্‌বিম্ব

বিন্দুর মতো ছোট হইলে উহাকে বিন্দু বস্তু বলা হয়। **এইরূপে একটি বিন্দু বস্তু হইতে একটি অপসারী আলোকের কিরণ নির্গত হইয়া কোনও মাধ্যমে**

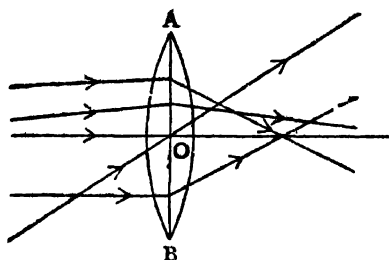
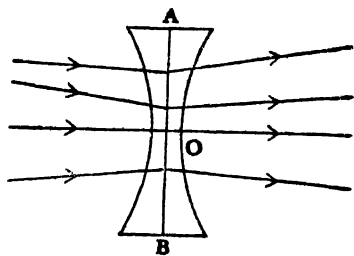
প্রতিসরণের (বা প্রতিফলনের) পরে যদি অপর কোনও বিন্দুতে গিয়া মিলিত হয় তাহা হইলে ঐ দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর বিম্ব বলা হয়। এ ক্ষেত্রে বিম্বটি বাস্তব বা সদ্‌বিম্ব (Real image)। কিন্তু যদি প্রতিসরণের (প্রতিফলনের) পরে কিরণটি দ্বিতীয় কোনও বিন্দু হইতে অপসৃত হইয়াছে বলিয়া মনে হয় তাহা হইলে দ্বিতীয় বিন্দুকে অলীক বা অসদ্‌বিম্ব (Virtual image) বলা হয়। পূর্ব পৃষ্ঠার দুইটি চিত্রেই O বিন্দুটি বিন্দু বস্তু। প্রথম চিত্রে O হইতে আলোকরশ্মি অপসৃত হইয়া লেন্সের মধ্যে প্রতিসরণের পর I বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। সুতরাং, I বিন্দু O বিন্দুর সদ্‌বিম্ব। দ্বিতীয় চিত্রে O বিন্দু হইতে প্রতিসৃত কিরণ লেনসের মধ্যে প্রতিসরণের পর কোনও বিন্দুতে মিলিত হয় নাই, কিন্তু প্রতিসৃত রশ্মিগুলি পশ্চাৎ দিকে ভগ্ন রেখা (dotted line) দ্বারা বর্ধিত করিলে উহারা I বিন্দুতে মিলিত হইতেছে। অর্থাৎ প্রতিসৃত কিরণ I বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া বোধ হইতেছে। অতএব, দ্বিতীয় চিত্রে I বিন্দু অসদ্‌বিম্ব।

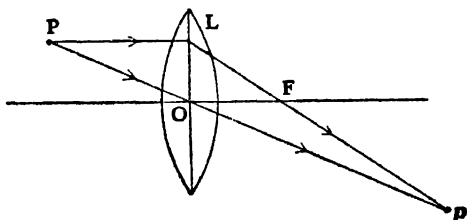
নির্দিষ্ট আয়তনবিশিষ্ট বস্তুর বিম্ব (Image of an object of finite size): নির্দিষ্ট আয়তনবিশিষ্ট কোনও বস্তুকে কতকগুলি বিন্দু বস্তুর সমষ্টি মনে করা যাইতে পারে। প্রত্যেকটি বিন্দু বস্তুর জন্য একটি করিয়া বিন্দু-বিম্ব উৎপন্ন হইবে এবং ঐ বিন্দু-বিম্বগুলির পাশাপাশি অবস্থানের ফলেই নির্দিষ্ট আয়তনবিশিষ্ট বিম্বের সৃষ্টি হইবে।

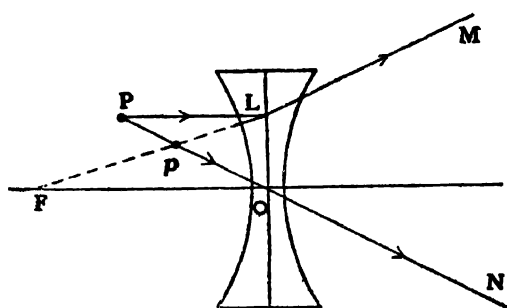
বাস্তব বিম্ব ও অলীক বিম্বের পার্থক্য

বাস্তব বিম্ব [Real image]	আলীক বিম্ব [Virtual image]
1. বস্তুর কোনও বিন্দু হইতে নির্গত অপসারী রশ্মিগুলি প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর অপর একটি বিন্দুতে মিলিত হয়।	1. বস্তুর কোনও বিন্দু হইতে নির্গত অপসারী রশ্মিগুলি প্রতিফলন বা প্রতি-সরণের পর প্রকৃতপক্ষে অপর কোনও বিন্দুতে মিলিত হয় না। কিন্তু পিছনের রশ্মিগুলিকে পরিবর্ধিত করিলে একটি ছেদ বিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া মনে হয়।
2. প্রতিবিম্বের অবস্থানে পর্দা রাখিলে সেই পর্দায় প্রতিবিম্ব ধরা যায়।	2. প্রতিবিম্বের অবস্থানে পর্দা রাখিলে সেই পর্দায় প্রতিবিম্ব ধরা যায় না।
3. প্রতিবিম্ব খালি চোখে দেখা যায়।	3. প্রতিবিম্ব খালি চোখে দেখা যায়।

লেনসের ভিতর দিয়া রশ্মি-অঙ্কন: কোনও লেন্সের উপর একটি রশ্মি আপতিত হইলে উহা লেন্সের দুইটি বিপরীত তলে দুইবার প্রতিসৃত হইয়া নির্গত হয়। কিন্তু চিত্রাঙ্কনের সুবিধার জন্য লেন্সের দ্বারা রশ্মিটির সম্পূর্ণ অপসরণ (deviation) একবারে দেখাইয়া দেওয়ার রীতি প্রচলিত আছে।

একটি সমোত্তল লেন্সের লেন্স-কেন্দ্রের ভিতর দিয়া অক্ষের সহিত লম্ব একটি সমতল কল্পনা করিলে উহা লেন্সকে ঠিক মাঝখানে সমদ্বিখণ্ডিত করিবে। চিত্রে AOB রেখা এই তলকে সূচিত করিতেছে। অর্থাৎ AOB রেখা এই তলের ছেদ (section)। ইহাকে মূল রেখা বলা যাইতে পারে। লেন্সের উপর কোনও রশ্মি আপতিত হইলে মনে করা হয় উহা লেন্স ভেদ করিয়া AOB তল পর্যন্ত

৭৩ক নং চিত্র : ৭৩খ নং চিত্র :
লেন্সের ভিতর দিয়া রশ্মি-অঙ্কন

সোজা চলিয়া গেল এবং যেন AOB তলের উপর প্রতিসৃত হইয়া পরিবর্তিত পথে নির্গত হইল। অর্থাৎ লেন্সটি যেন মূলরেখা AOB দ্বারাই সূচিত হইতেছে এইরূপ মনে করা হয়। বলা বাহুল্য, প্রকৃতপক্ষে এইরূপ না হইলেও, অঙ্কনের সুবিধার জন্য এইরূপ প্রণালী অবলম্বন করা হয়। চিত্রে কয়েকটি প্রতিসৃত রশ্মি অঙ্কন করিয়া দেখান হইয়াছে।

৭৪নং চিত্র : বিম্ব-গঠনকারী রশ্মি-অঙ্কন

বিম্ব-গঠনকারী রশ্মি-অঙ্কন (বিন্দু বস্তু) : বিন্দু বস্তুর বিম্ব-গঠনকারী রশ্মিগুলি আঁকিতে হইলে বিন্দুটি হইতে একটি অপসারী কিরণ আঁকিতে হইবে যাহা লেন্সের উপর পড়িয়াছে। তারপর উহার প্রত্যেকটি রশ্মি লেন্সের ভিতর দিয়া যেভাবে প্রতিসৃত হইবে সেইভাবে প্রতিসৃত রশ্মিগুলি আঁকিলে উহারা কোনও বিন্দুতে মিলিত হইবে (সদ্‌বিম্বের ক্ষেত্রে), অথবা কোনও বিন্দু হইতে অপসৃত হইয়াছে মনে হইবে (অসদ্‌বিম্বের ক্ষেত্রে)। কিন্তু যে কোনও ভাবে আপতিত রশ্মি লইলে উহা

৭৫নং চিত্র : বিম্ব-গঠনকারী রশ্মি-অঙ্কন

লেন্সের মধ্যে কি ভাবে প্রতিসৃত হইবে তাহা নির্ণয় করা সহজ নয়। সেইজন্য

মাত্র দুই বা তিনটি বিশেষ পথে গমনশীল রশ্মি অঙ্কন করিয়া উহাদের দ্বারাই বিম্বের অবস্থান নির্ণয় করা যায়। দুই বা তিনটি রশ্মি যে বিন্দুতে মিলিত হয় সেখানে অপর রশ্মিগুলিও অবশ্যই মিলিত হইবে। আমাদের জানা আছে :

1. লেন্‌সের অক্ষের সহিত সমান্তরাল রশ্মিগুলি সর্বদা ফোকাসের ভিতর দিয়া নির্গত হয়।

2. লেন্‌স-কেন্দ্র দিয়া গমনশীল রশ্মিগুলি অপরিবর্তিত পথে নির্গত হয়।

3. ফোকাসের ভিতর দিয়া গমনশীল রশ্মিগুলি অক্ষের সহিত সমান্তরালভাবে নির্গত হয়।

সুতরাং এই সকল রশ্মিগুলিকে লইলে উহাদের প্রতিসৃত পথ সহজে অঙ্কন করা যাইতে পারে।

মনে করা যাক, P একটি বিন্দু বস্তু। ঐ বিন্দু হইতে PL রশ্মিটি লেন্‌সের অক্ষের সহিত সমান্তরাল পথে চলিয়া লেন্‌সের উপর পড়িল। লেন্‌সটি উত্তল হইলে ঐ রশ্মিটি প্রতিসরণের পর লেন্‌সের বিপরীত দিকে ফোকাস Fএর ভিতর দিয়া যাইবে। লেন্‌সটি অবতল হইলে রশ্মিটি বিপরীত দিকে অক্ষ হইতে দূরে সরিয়া যাইবে এবং উহার নির্গমন পথকে পশ্চাদ্‌দিকে বর্ধিত করিলে উহা লেন্‌সের ফোকাস F বিন্দুর ভিতর দিয়া যাইবে। অপর একটি রশ্মি P হইতে লেন্‌স-কেন্দ্র দিয়া গেলে উহা অপরিবর্তিত পথে নির্গত হইবে। মনে করা যাক, উত্তল লেন্‌সের ক্ষেত্রে রশ্মি দুইটি লেন্‌সের বিপরীত দিকে p বিন্দুতে মিলিত হইল। সুতরাং p বিন্দুটি P বিন্দুর বিম্ব হইবে। এক্ষেত্রে বিম্বটি সদ্‌বিম্ব। অবতল লেন্‌সের ক্ষেত্রে p বিন্দুর ভিতর দিয়া কেবল একটি রশ্মিই যাইবে (যে রশ্মিটি লেন্‌স-কেন্দ্র ভেদ করিয়া যায়), অপর রশ্মিগুলির পশ্চাদ্‌দিকে বর্ধিতাংশই কেবল p বিন্দুতে মিলিত হয়। রশ্মির এইরূপ পশ্চাদদিকে বর্ধিতাংশকে অলীক রশ্মি (virtual ray) বলে। p বিন্দুতে গঠিত বিম্বটিও এক্ষেত্রে অসদ্‌বিম্ব।

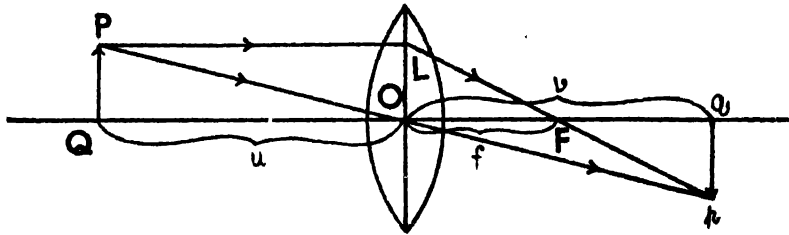
কেবল দুইটি রশ্মি দ্বারাই বিম্বের অবস্থান নির্ণয় করা সম্ভব। আরও যে সকল রশ্মি বিন্দু বস্তু হইতে নির্গত হইয়া লেন্‌সের উপর পড়িতেছে তাহারাও লেন্‌সের দ্বারা প্রতিসৃত হইবার পর উত্তল লেন্‌সের ক্ষেত্রে p বিন্দুতে মিলিত হইবে এবং অবতল লেন্‌সের ক্ষেত্রে p বিন্দু হইতে অপসৃত বলিয়া বোধ হইবে।

লেন্‌স-সূত্র

[Lens Formula]

কোনও লেন্‌স হইতে একটি বস্তু ও উহার বিম্বের দূরত্বের মধ্যে সর্বদা একটি নির্দিষ্ট সম্বন্ধ থাকে এবং এই সম্বন্ধটি লেন্‌সটির ফোকাসীয় দূরত্বের উপর নির্ভরশীল। উত্তল ও অবতল উভয় প্রকার লেন্‌সের ক্ষেত্রে প্রথমে বিন্দু বস্তু লইয়া সম্বন্ধটি বাহির করা হইবে।

উত্তল লেন্‌স ও বিন্দু বস্তু : মনে করা যাক, O এবং F যথাক্রমে উত্তল লেন্‌সটির লেন্‌স-কেন্দ্র ও ফোকাস এবং P বিন্দুটি বিন্দু বস্তু।

P হইতে PO রশ্মিটি লেন্স-কেন্দ্রের ভিতর দিয়া অপরিবর্তিত পথে গিয়াছে এবং PL রশ্মিটি অক্ষের সহিত সমান্তরাল পথে লেন্সের উপর আপতিত হওয়ায় ফোকাস F বিন্দু দিয়া গেল। উহারা p বিন্দুতে মিলিত হওয়ায় p বিন্দু P বিন্দুর বিম্ব হইল।

৭৬নং চিত্র : বস্তু ও বিম্বের দূরত্বের সম্বন্ধ (উত্তল লেন্স)

PQ এবং pq রেখাদ্বয় যথাক্রমে P ও p হইতে অক্ষের উপর লম্ব।
এখন POQ, pOq ত্রিভুজ দুইটির মধ্যে ;

$\angle PQO = \angle pqO$ (উভয়েই সমকোণ বলিয়া)

এবং $\angle POQ = \angle pOq$ (বিপ্রতীপ কোণ)

সুতরাং, ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ (similar) ;

$$\therefore \quad \frac{PQ}{pq} = \frac{OQ}{Oq} \cdots\cdots \text{(i)}$$

আবার অনুরূপভাবে LOF এবং pqF Δ দ্বয়ও সদৃশ ;

সুতরাং, $\frac{LO}{pq} = \frac{OF}{qF}$; কিন্তু, $LO = PQ$

$$\therefore \quad \frac{PQ}{pq} = \frac{OF}{qF} \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \text{(ii)}$$

$\therefore$ (i) ও (ii) হইতে $\frac{OQ}{Oq} = \frac{OF}{qF} \cdots\cdots \text{(iii)}$

কিন্তু, $OQ = PL =$ লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব
$= u$ (মনে করা হইল)

$Oq =$ লেন্স হইতে বিম্বের দূরত্ব $= v$ (মনে করা হইল)

এবং $OF = f$ (ফোকাসীয় দূরত্ব)

অর্থাৎ, $qF = Oq - OF = v - f$

$\therefore$ (iii) হইতে $\frac{u}{v} = \frac{f}{v-f}$

বা, $vf = uv - uf$;

বা, $vf + uf = uv$

উভয় পক্ষকে uvf দ্বারা ভাগ করিয়া $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \cdots\cdots \text{(iv)}$

*** চিহ্ন সম্বন্ধে নিয়ম :** লেন্‌স্ হইতে কোনও দূরত্ব উল্লেখের সময়ে ঐ দূরত্বের চিহ্ন সম্বন্ধে সর্বদা কয়েকটি নিয়ম প্রয়োগ করিলে সকল ক্ষেত্রেই একটি সূত্র পাওয়া যাইবে। নিয়মগুলি এইরূপ :

(i) লেন্‌স-কেন্দ্র হইতে সমস্ত দূরত্বের উল্লেখ করিতে হইবে।

(ii) আপতিত রশ্মির সহিত একই দিকে সকল দূরত্বকে নেগেটিভ (negative) এবং উহার বিপরীত দিকের সকল দূরত্বকে পজিটিভ (positive) ধরিতে হইবে।

উদাহরণস্বরূপ ৭৬ নং চিত্রে কোনও দূরত্বকে সর্বদা O বিন্দু হইতে উল্লেখ করিতে হইবে। বস্তুর দূরত্ব OQ বা u আপতিত রশ্মি PL-এর বিপরীত দিকে, সুতরাং উহা পজিটিভ। কিন্তু বিম্বের দূরত্ব Oq বা v আপতিত রশ্মির সহিত একই দিকে, সুতরাং নেগেটিভ।

নিয়মগুলি মোটামুটি এইরূপও ধরা যায় :

(i) লেন্‌সের যে দিকে বস্তু objcet অবস্থিত সেইদিকের সমস্ত দূরত্ব পজিটিভ (positive)।

(ii) লেন্‌সের যে দিকে বস্তু অবস্থিত তাহার বিপরীত দিকের সমস্ত দূরত্ব নেগেটিভ (negative)।

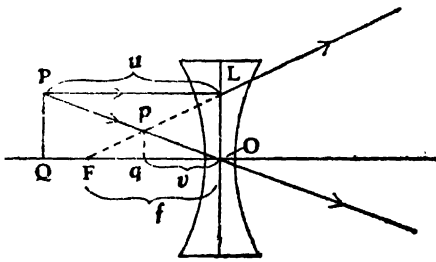
এই নিয়ম প্রয়োগ করিলে, পূর্বের উত্তল লেন্‌স ও সদ্‌বিম্বের ক্ষেত্রে $OQ=+u$; $Oq=-v$, এবং $OF=-f$

সুতরাং (A) সূত্রটির পরিবর্তিতরূপ হইবে : $\frac{1}{u}-\frac{1}{v}=\frac{1}{-f}$

$$\text{বা, } \frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}\cdots\cdots(A)$$

অবতল লেন্‌স ও বিন্দু বস্তু : মনে করা যাক্, P একটি বিন্দু বস্তু। যথা নিয়মে P হইতে অক্ষের সমান্তরাল PL এবং লেন্‌স-কেন্দ্র ভেদ করিয়া গমনশীল PO রশ্মি আঁকা হইল। তাহার ফলে p বিন্দুতে অসদ্‌বিম্বের অবস্থান পাওয়া গেল। PQ এবং pq অক্ষের উপর লম্ব।

৭৭নং চিত্র

বস্তু ও বিম্বের দূরত্বের সম্বন্ধ (অবতল লেন্‌স)

PQO এবং pqO ত্রিভুজদ্বয়ে PQ ও pq সমান্তরাল ; সুতরাং ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ।

$$\therefore \frac{PQ}{pq}=\frac{OQ}{Oq}\cdots\cdots(i)$$

---

* এই বইয়ে প্রথম শিক্ষার্থীদের সুবিধার জন্য চিহ্নসম্বন্ধীয় পুরাতন নিয়ম (old convention)-গুলি অনুসরণ করা হইয়াছে।

আবার অনুরূপভাবে LOF এবং pqF ত্রিভুজদ্বয়ও সদৃশ

সুতরাং, $\frac{LO}{pq}=\frac{OF}{qF}$ কিন্তু LO=PQ ; ∴ $\frac{PQ}{pq}=\frac{OF}{qF}$......(ii)

∴ (i) ও (ii) হইতে $\frac{OQ}{Oq}=\frac{OF}{qF}$

কিন্তু OQ=u (বস্তুর দূরত্ব) OF=f (ফোকাসীয় দূরত্ব)

oq=v (বিম্বের দূরত্ব) ; qF=OF−Oq=$f-v$

$\frac{u}{v}=\frac{f}{f-v}$; বা, $uf-uv=vf$

বা, $vf-uf=uv$

উভয় পক্ষকে uvf দ্বারা ভাগ করিয়া

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}\text{......(B)}$$

অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে সবগুলি দূরত্বই বস্তুর দিকে অবস্থিত ; অতএব উহাদের চিহ্ন পজিটিভ। সুতরাং চিহ্নের নিয়ম প্রয়োগেও (B) সূত্রটি অপরিবর্তিত থাকিবে, অর্থাৎ (A) এর মতই হইবে।

সুতরাং সূত্রটিকে সমস্ত লেন্সের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য সাধারণ **লেন্স-সূত্র** বলা যাইতে পারে।

ফোকাসীয় দূরত্বের চিহ্ন : পূর্বের আলোচনা হইতে দেখা যাইবে উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত ফোকাসটি সর্বদা বস্তুর বিপরীত দিকে। সুতরাং **উত্তল লেন্সের ফোকাসীয় দূরত্ব সর্বদা ঋণাত্মক (Negative) বা −f ধরিতে হইবে।** কিন্তু অবতল লেন্সের ব্যবহৃত ফোকাসটি বস্তুর দিকেই থাকে। সুতরাং **অবতল লেন্সের ফোকাসীয় দূরত্বকে সর্বদা পজিটিভ (Positive) বা +f ধরিতে হইবে।**

উদাহরণ 1 : একটি উত্তল লেন্সের ফোকাসীয় দূরত্ব 12 সে. মি. ; ঐ লেন্স হইতে 18 সে. মি. দূরে অবস্থিত একটি বিন্দু বস্তুর বিম্ব কোথায় হইবে।

লেন্সের সাধারণ সূত্র ; $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

প্রশ্নানুসারে, $f=-12$ সে. মি. (∵ উত্তল লেন্স ফোকাসীয় দূরত্ব ঋণাত্মক) $u=18$ সে. মি.

$$\therefore \frac{1}{v}=\frac{1}{u}+\frac{1}{f}=\frac{1}{18}+\frac{1}{-12}=\frac{1}{18}-\frac{1}{12}=\frac{2-3}{36}=\frac{-1}{36}$$

$$\therefore v=-36.$$

অর্থাৎ বিম্বটি লেন্‌স হইতে 36 সে. মি. দূরে অবস্থিত হইবে। v-এর ঋণাত্মক মান হইতে বুঝা যাইতেছে লেন্‌সের যে দিকে বস্তু অবস্থিত বিম্বের অবস্থান তাহার বিপরীত দিকে।

উদাহরণ 2 : একটি লেন্‌সের 16 সে. মি. দূরে একটি বিন্দু বস্তু রাখায় বিপরীত দিকে 12 সে. মি. দূরে উহার বিম্ব গঠিত হইল। লেন্‌সটির ফোকাসীয় দূরত্ব নির্ণয় কর। উহা কি ধরনের লেন্‌স (উত্তল অথবা অবতল) ?

প্রশ্নানুসারে ; $u = +16$ সে. মি.

$v = -12$ সে. মি.

সুতরাং, $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$ সূত্রে এই সকল মান প্রয়োগ করিয়া ;

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{-12} - \frac{1}{16}$$

[এখানে f-এর কোনও চিহ্ন ধরা হইবে না, কারণ f নির্ণেয়]

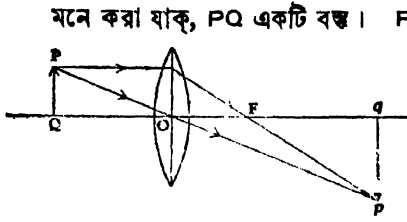
$$= -\frac{4+3}{48}$$

$$= -\frac{7}{48}$$

$$\therefore \; f = -\frac{48}{7} = -6\frac{6}{7} \text{ সে. মি.}$$

f-এর মান ঋণাত্মক চিহ্ন হইতে বুঝা যাইতেছে লেন্‌সটি উত্তল লেন্‌স।

বিস্তৃত বস্তুর বিম্ব (Image of an extended object) **:** বিন্দু বস্তু লইয়া লেন্‌সের সূত্র নির্ণয়ের ক্ষেত্রে যে দুইটি চিত্র আঁকা হইয়াছে উহাদের কথা এখানে বিবেচনা করা যাক। P বিন্দুতে বস্তুটি অবস্থিত ধরা হইয়াছিল এবং PQ রেখা P বিন্দু হইতে অক্ষের উপর লম্ব। যদি P বিন্দু ব্যতীত PQ রেখার উপর অপর যে কোনও বিন্দুকে বস্তু ধরা যায়, তাহা হইলেও বস্তুর দূরত্ব 'u' অপরিবর্তিত থাকিবে। সুতরাং, $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ সূত্র অনুসারে 'v'-এর মান সমানই থাকিবে, অর্থাৎ বিন্দু বিম্বটিও pq রেখার উপরেই হইবে। এখন মনে করা যাক্‌, সমগ্র PQ রেখাটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি বস্তু। ঐ বস্তুটিকে PQ রেখার উপর অবস্থিত পাশাপাশি কতকগুলি বিন্দুর সমষ্টি মনে করা যাইতে পারে। কিন্তু উহাদের প্রত্যেক বিন্দুর দূরত্বই 'u' সুতরাং তাহাদের বিম্বের দূরত্বও v হইবে। সুতরাং বিম্ব বিন্দুগুলি সমস্ত pq রেখার উপর অবস্থিত হইবে। অর্থাৎ pq রেখা বস্তুর বিম্বের **অবস্থান** ও **আয়তন** নির্দেশ করিবে।

অতএব নির্দিষ্ট আয়তনবিশিষ্ট বস্তুর বিম্ব নির্ণয়ের জন্য **রশ্মি অঙ্কন** এইরূপে করা যাইতে পারে :

মনে করা যাক্, PQ একটি বস্তু। P বিন্দু হইতে যথাক্রমে অক্ষের সমান্তরাল ও লেন্স-কেন্দ্র দিয়া গমনশীল দুইটি রশ্মি আঁকা হইল। উহারা প্রতিসরণের পর p বিন্দু মিলিত হইল। সুতরাং p বিন্দু P বিন্দুর বিম্ব। এখন p বিন্দু হইতে অক্ষের উপর pq লম্ব অঙ্কন করা হইল।

১৮নং চিত্র : রশ্মি অঙ্কন

এই pq রেখা বিম্বের অবস্থান ও দৈর্ঘ্য নির্দেশ করিবে।

ছক কাগজ (graph paper) লইয়া অথবা অঙ্কনের সরঞ্জাম লইয়া বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের বস্তুর বিম্বের অবস্থান ও দৈর্ঘ্য এই প্রণালী অনুসারে নির্ণয় করা যাইতে পারে।

বিবর্ধন (magnification) : ১৮নং চিত্রে PQ বস্তুটি উহার বিম্ব pq-সহিত সমান নহে। বিম্বটি বস্তু অপেক্ষা বড়। বস্তুর তুলনায় বিম্বের এই আয়তন বৃদ্ধিকে বিবর্ধন বলে।

এখানে $\frac{pq}{PQ}$ এই অনুপাতটি লইলে বস্তুর তুলনায় বিম্বটি উচ্চতায় কতগুণ বড় তাহা পাওয়া যায় ; এই জন্য এই অনুপাতটিকে রৈখিক বিবর্ধন (linear magnification) বলে। রৈখিক বিবর্ধনকে 'm' অক্ষর দ্বারা সূচিত করিলে ১৮নং চিত্র হইতে :

$$\text{বিবর্ধন } m=\frac{\text{বিম্বের উচ্চতা}}{\text{বস্তুর উচ্চতা}}=\frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}=\frac{v}{u}$$

[$\because$ poq এবং POQ ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ]

মনে রাখিতে হইবে, লেন্সের দ্বারা গঠিত বিম্ব যে সর্বদা বস্তু হইতে বড় হইবে এমন নহে, উহা বস্তুর সমান বা বস্তু হইতে ছোটও হইতে পারে। এইরূপ ক্ষেত্রে অবশ্য 'বিবর্ধন' কথাটি ঠিক প্রযোজ্য হয় না। কিন্তু তাহা সত্ত্বেও সর্বদাই $\frac{\text{বিম্বের উচ্চতা}}{\text{বস্তুর উচ্চতা}}$ এই অনুপাতটিকে বিবর্ধন বলা হইয়া থাকে।

উদাহরণ 1 : একটি লেন্সের একপার্শ্বে 9 সে. মি. দূরে একটি বস্তু রাখায় উহার অপর পার্শ্বে 12 সে. মি. দূরে বস্তুটির একটি বিম্ব গঠিত হইল। বিবর্ধন কত হইল? বস্তুর উচ্চতা 3 সে. মি. হইলে বিম্বের উচ্চতা কত হইবে?

$m=\frac{v}{u}$, এখানে $v=12$ সে. মি.

$u=9$ সে. মি.

$\therefore \quad m=\frac{12}{9}=\frac{4}{3}$

অর্থাৎ, $m = \frac{\text{বিম্বের উচ্চতা}}{\text{বস্তুর উচ্চতা}} = \frac{4}{3}$;

$\therefore$ বিম্বের উচ্চতা $=$ বস্তুর উচ্চতা $\times \frac{4}{3} = 3 \times \frac{4}{3}$ সে. মি. $= 4$ সে. মি.

উদাহরণ 2 : একটি উত্তল লেন্সের ফোকাসীয় দূরত্ব 12 সে. মি. ; উহা হইতে 18 সে. মি. দূরে একটি 2 সে. মি. উচ্চ বস্তু রাখিলে উহার বিম্বের অবস্থান কোথায় হইবে এবং বিম্বের উচ্চতা কত হইবে ?

এখানে $f = -12$ সে. মি. (উত্তল লেন্স বলিয়া ফোকাসীয় দূরত্বে বিয়োগচিহ্ন হইবে)।

$u = 18$ সে. মি.

সুতরাং, লেন্সের $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ সূত্রে এই সকল মান

প্রয়োগ করিয়া ; $\frac{1}{v} - \frac{1}{18} = \frac{1}{-12}$

বা, $\frac{1}{v} = \frac{1}{18} - \frac{1}{12} = \frac{-1}{36}$

বা, $v = -36$

$\therefore$ লেন্স হইতে বিম্বের দূরত্ব $= 36$ সে. মি.

v-এর মান ঋণাত্মক চিহ্ন হইতে বুঝা যাইতেছে বস্তুটি লেন্সের যে দিকে আছে তাহার বিপরীত দিকে বিম্বটি গঠিত হইবে।

এবং বিবর্ধন $m = \frac{v}{u} = \frac{36}{18} = 2$

$\therefore$ বিম্বের উচ্চতা $= m \times$ বস্তুর উচ্চতা
$= 2 \times 2$ সে. মি. $= 4$ সে. মি.

উদাহরণ 3 : একটি লেন্সের অক্ষের উপর 20 সে. মি. দূরে একটি বস্তু রাখায় অপর দিকে 30 সে. মি. দূরে উহার বিম্ব গঠিত হইল। লেন্সটির ফোকাসীয় দূরত্ব কত এবং উহা কি ধরনের লেন্স ?

প্রশ্নানুসারে, $u = 20$ সে. মি.

$v = -30$ সে. মি.

সুতরাং, $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$ সূত্রে মান প্রয়োগ করিয়া,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{-30} - \frac{1}{20} = \frac{-2-3}{60} = \frac{-5}{60} = -\frac{1}{12}$$

$\therefore$ $f = -12$ সে. মি.

সুতরাং লেন্সটির ফোকাসীয় দূরত্ব $= 12$ সে. মি. এবং ফোকাসীয় দূরত্বের বিয়োগ চিহ্ন হইতে বুঝা যাইতেছে লেন্সটি উত্তল।

উদাহরণ 4 : একটি লেন্সের 12 সে. মি. দূরে একটি বস্তু রাখায় উহার বিপরীত দিকে বস্তুর তিনগুণ দীর্ঘ একটি বিম্ব পাওয়া গেল। লেন্সটির ফোকাসীয় দূরত্ব কত এবং উহা কি ধরনের লেন্স ?

লেন্সের সূত্র, $\frac{1}{f}=\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\cdots$(i)

এবং বিবর্ধন, $m=\frac{v}{v}$

প্রশ্নানুসারে, $u=12$ সে. মি.
$m=3$

$\therefore\ 3=\frac{v}{12}$

$\therefore\ v=3\times 12$ সে. মি.
$=36$ সে. মি.

$\therefore$ (i) নং সূত্রে মান প্রয়োগ করিয়া ;

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{-36}-\frac{1}{12}$$

$$=-\frac{4}{36}=-\frac{1}{9}$$

$$\therefore\ f=-9$$

[বস্তুর বিপরীত দিকে গঠিত হওয়ার বিম্বের দূরত্বে বিয়োগ চিহ্ন হইবে।]

সুতরাং ফোকাসীয় দূরত্ব=**9** সে. মি. এবং বিয়োগ চিহ্ন হইতে বুঝা যাইতেছে লেন্সের ধরন **উত্তল**।

উদাহরণ 5 : একটির লেন্সের 24 সে. মি. দূরে একটি বস্তু রাখায় একই পার্শ্বে 18 সে. মি. দূরে উহার বিম্ব গঠিত হইল। লেন্সটির ফোকাসীয় দূরত্ব কত এবং উহা কি ধরণের লেন্স ?

লেন্সের সূত্র, $\frac{1}{f}=\frac{1}{v}-\frac{1}{u}$;

প্রশ্নানুসারে, $u=24$ সে. মি. এবং $v=18$ সে. মি. (বিম্ব বস্তুর দিকেই হওয়ায় v-এর যোগ চিহ্ন হইবে।)

$$\therefore\ \frac{1}{f}=\frac{1}{18}-\frac{1}{24}=\frac{1}{72};\quad \therefore\ f=72$$

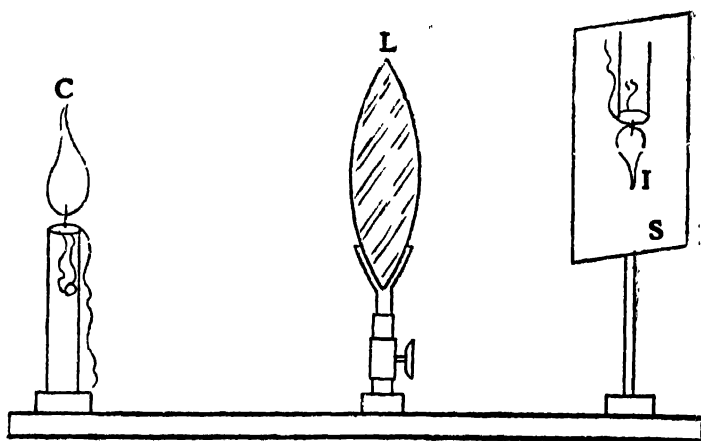
$\therefore$ ফোকাসীয় দূরত্ব=**72** সে. মি. এবং f-এর মান যোগচিহ্ন হওয়ায় লেন্সটি **অবতল**।

বস্তু ও বিম্বের বিভিন্ন পারস্পরিক অবস্থান ও আয়তন

[Different cases of object and image positions and image sizes]

একটি লেন্সকে উপযুক্ত কাঠামোর উপর এমনভাবে দাঁড় করান হইল যাহাতে উহার অক্ষটি অনুভূমিক (horizontal) হয়। একটি মোমবাতিকেও

আর একটি কাঠামোর উপর দাঁড় করান হইল যাহাতে লেন্‌সের অক্ষ মোমবাতির শিখাটি ভেদ করিয়া যায়। কাঠামো দুইটি অবশ্য একটি বড় টেবিলের উপর থাকিবে। শিখাটি এখানে বস্তু হিসাবে ব্যবহৃত হইবে। শিখা ও লেন্‌সের মধ্যে দূরত্ব পরিবর্তন করিয়া বিম্বের বিভিন্ন অবস্থান ও আয়তন লক্ষ্য করা যাইবে। বিম্বটি যদি সদ্‌বিম্ব (real image) হয় তাহা হইলে উহাকে একটি কাগজের পর্দার উপর ধরা যাইবে। অসদ্‌বিম্ব হইলে লেন্‌সের কাছে চোখ রাখিয়া উহাকে দেখা যাইবে।

পরীক্ষার সাহায্যে বিম্বের যে সকল বিভিন্ন অবস্থান ও আয়তন লক্ষ্য করা যায়, রশ্মি অঙ্কন দ্বারা অথবা লেন্‌স-সূত্র প্রয়োগ করিয়াও উহাদের নির্ণয় করা যাইতে পারে। প্রথমে একটি উত্তল লেন্‌স লইয়া উহা হইতে কিছু দূরে মোমবাতিটি রাখা হইল। লেনসের অপরদিকে একটি পর্দা রাখিলে পর্দার উপর শিখার একটি আবছায়া বিম্ব দেখা যাইবে। এখন পর্দাটিকে লেন্‌স হইতে কাছে বা দূরে সরাইয়া লক্ষ্য করিলে পর্দার একটি নির্দিষ্ট অবস্থানে বিম্বটি স্পষ্ট দেখা যাইবে। ইহাই বিম্বের প্রকৃত অবস্থান। লেন্‌সটিকে স্থির রাখিয়া মোমবাতিটিকে ধীরে ধীরে সরাইলে স্পষ্ট বিম্ব পাইবার জন্য পর্দাটিকেও তদনুসারে সরাইতে হইবে। মনে করা যাক্‌, প্রথমে মোমবাতিটি খুব দূরে রাখা হইল। পর্দার অবস্থান প্রয়োজনমত সরাইয়া প্রায় বিন্দুর মতো খুব ছোট একটি বিম্ব পাওয়া

৭৯নং চিত্র : পর্দায় মোমবাতির বিম্ব

যাইবে। একটি ধাতুনির্মিত স্কেল লইয়া লেন্‌স হইতে বিম্বের দূরত্ব মাপা যাইতে পারে। লেন্‌সটির ফোকাসীয় দূরত্ব জানা থাকিলে দেখা যাইবে এই বিম্বের দূরত্ব ফোকাসীয় দূরত্বের সামান্য বেশী। তারপর বাতিটিকে ধীরে ধীরে লেন্‌সের দিকে সরাইয়া আনিলে দেখা যাইবে বিম্বটিও ক্রমশ দূরে সরিয়া যাইতেছে এবং ইহার আয়তন বৃদ্ধি পাইতেছে। বিম্বটি অবশ্য সর্বদাই অবশীর্ষ

(inverted) হইবে অর্থাৎ শিখার উপরের দিক বিম্বের নীচে হইবে এবং নীচের দিক বিম্বের উপরে হইবে। অতএব উত্তল লেন্‌সের সদ্‌বিম্ব সর্বদা অবশীর্ষ হইয়া থাকে। পূর্বে রশ্মি অঙ্কন করিয়া বিম্ব গঠনের সময়ও ইহা দেখা গিয়াছে।

দ্বিতীয়ত, একটি অবতল লেন্‌স লইয়া পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে বাতিটি যেখানেই রাখা যাক, পর্দার কোনও অবস্থানেই উহার উপর বিম্ব পাওয়া যাইতেছে না। ইহার কারণ বস্তুর কোনও বিন্দু হইতে অপসারী আলোকের কিরণ আসিয়া অবতল লেন্‌সের উপর পড়িলে উহা আরও অপসৃত (diverged) হইয়া যায়, সুতরাং লেন্‌সের দ্বারা প্রতিসরণের পর কোনও অবস্থাতেই উহার রশ্মিগুলি অভিসারী কিরণে পরিণত হইবে না। কিন্তু লেন্‌সের পশ্চাতে কোনও বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে। লেন্‌সের নিকটে বস্তুর বিপরীত দিকে চোখ রাখিলে বস্তুর দিকে সর্বদা বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্র এবং উৎশীর্ষ (erect) বা সোজা বিম্ব দেখা যাইবে।

উত্তল লেন্‌সের ক্ষেত্রেও যদি বাতিটি লেন্‌সের ফোকাসীয় দূরত্বে রাখা যায় তাহা হইলে লেন্‌সের দ্বারা প্রতিসরণের পর রশ্মিগুলি সমান্তরাল হইয়া যাইবে এবং ইহাদের দ্বারাও প্রকৃতপক্ষে কোনও বিম্ব গঠিত হইবে না। আবার বাতিটি যদি লেন্‌সের আরও কাছে আনা হয় তাহা হইলে রশ্মিগুলি লেন্‌সের মধ্যে প্রতিসরণের পর অপসারী কিরণে পরিণত হইবে এবং ইহাদের দ্বারাও কোনও সদ্‌বিম্ব গঠিত হইবে না। এইরূপ ক্ষেত্রেও বাতির (বা অন্য কোনও বস্তুর) বিপরীত দিকে লেন্‌সের কাছে চোখ রাখিলে বস্তু অপেক্ষা বড় উৎশীর্ষ অসদ্‌বিম্ব বস্তুরই দিকে দেখা যাইবে। অতএব **সদ্‌বিম্ব পাইতে হইলে উত্তল লেন্‌স হইতে ফোকাসীয় দূরত্ব অপেক্ষা দূরে বস্তুকে রাখিতে হইবে।**

উত্তল লেন্‌সের ফোকাসীয় দূরত্ব নির্ণয় : সহজ প্রণালী : আমরা দেখিয়াছি একটি উত্তল লেন্‌স হইতে অনেক দূরে অবস্থিত কোনও বস্তুর বিম্ব প্রায় লেন্‌সের ফোকাসে গঠিত হয়। সুতরাং পূর্বে বর্ণিত পরীক্ষায় বাতির পরিবর্তে একটি দূরবর্তী কোনও বস্তুকে লক্ষ্যবস্তু হিসাবে লওয়া যাইতে পারে। যেমন, দূরবর্তী একটি গাছ বা বাড়ি। এখন পর্দার অবস্থান এমনভাবে পরিবর্তন করিতে হইবে যাহাতে উহার উপর বস্তুটির বিপরীত বিম্বটি স্পষ্ট দেখা যায়। একটি স্কেলের সাহায্যে লেন্‌সের তলের উপর মধ্যস্থল হইতে পর্দা পর্যন্ত দূরত্ব মাপিলে উহা মোটামুটিভাবে ফোকাসীয় দূরত্ব হইবে।

U-V প্রণালী (u-v method) **:** এই প্রণালীতে f-এর মান সূক্ষ্মভাবে বাহির করা যায়। লেন্‌সের এক দিকে কোনও বস্তু রাখিয়া অপর দিকে বিম্বের অবস্থান বাহির করিতে হয়। লেন্‌স হইতে বস্তু ও বিম্বের দূরত্ব যথাক্রমে u এবং v হইলে, $\frac{1}{f}=\frac{1}{v}-\frac{1}{u}$ এই সূত্র প্রয়োগে f-এর মান নির্ণয় করা যায়।

বস্তুর বিপরীত দিকে বিম্ব গঠিত হওয়ায় v-এর বিয়োগ চিহ্ন হইবে। সুতরাং পরিবর্তিত আকারে সূত্রটি এইরূপ হইবে :

$$\frac{1}{f}=-\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=-\left\{\frac{1}{v}+\frac{1}{u}\right\}=-\frac{u+v}{vu}$$

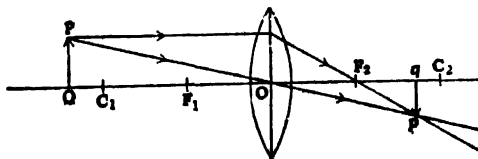
$$\therefore\ f=-\frac{uv}{u+v}.$$

প্রয়োজনীয় সরঞ্জাম : উত্তল লেন্‌স, মোমবাতি, কাগজের পর্দা, ইহাদের প্রত্যেকটির জন্য উপযুক্ত কাঠামো, ধাতুনির্মিত স্কেল।

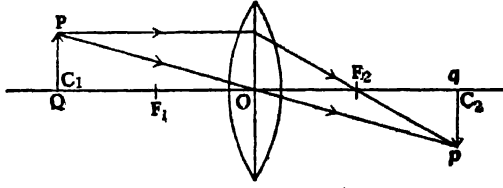
প্রণালী : পূর্বের ৭৯নং চিত্রটি দেখিলেই এই প্রণালী সম্বন্ধে ধারণা করা যাইবে। প্রথমে লেন্‌স ও মোমবাতিকে কাঠামোর উপর এমনভাবে রাখিতে হইবে যে মোটামুটি লেন্‌সের অক্ষের সমান উচ্চতায় মোমবাতির শিখাটি থাকে। সমতল টেবিলের মাঝখানে লেন্‌সটি রাখিয়া উহার একপাশে কিছুদূরে জ্বলন্ত মোমবাতিটি রাখা হইল। অপর দিকে পর্দাটিকে অক্ষের সহিত লম্বভাবে প্রথমে লেন্‌সের কাছে রাখিয়া তারপর ধীরে ধীরে সরাইয়া লওয়া হইল। সাধারণত পর্দার উপর শিখার একটি আবছায়া বিম্ব দেখা যাইবে। কিন্তু পর্দাটি একটি মাত্র নির্দিষ্ট অবস্থানে অবশীর্ষ (inverted) বিম্বটিকে খুব স্পষ্ট দেখা যাইবে। ইহাই বিম্বের প্রকৃত অবস্থান। এই অবস্থানে পর্দাটি রাখিয়া ধাতুনির্মিত (কাঠের স্কেল লইলে উহা মোমবাতির শিখার স্পর্শে পুড়িয়া যাইবে) স্কেলের দ্বারা শিখা ও লেন্‌সের মধ্যে দূরত্ব মাপা হইল। ইহা বস্তুর দূরত্ব u। তারপর লেন্‌স ও পর্দার মধ্যের দূরত্বও মাপা হইল। ইহা বিম্বের দূরত্ব v। এখন পূর্বের সূত্র প্রয়োগ করিলে f-এর মান নির্ণয় করা যাইবে। তারপর মোমবাতিটিকে লেন্‌সের অক্ষ বরাবর আর একটু কাছে বা দূরে সরাইয়া রাখা হইল এবং পুনরায় পূর্বের ন্যায় উহার বিম্বের অবস্থান নির্ণয় করিয়া স্কেলের সাহায্যে u ও v-এর মান লওয়া হইল। এইরূপে u-এর বিভিন্ন মান লইয়া প্রত্যেক ক্ষেত্রে v-এর মানও নির্ণয় করা হইল এবং প্রত্যেক ক্ষেত্রে সূত্র প্রয়োগ করিয়া f-এর মান নির্ণয় করা হইল। এখন নির্ণীত সবগুলি f-এর গড় লইলে সূক্ষ্মভাবে ফোকাসীয় দূরত্বের মান নির্ণীত হইবে।

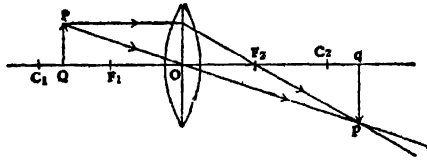
বিম্ব-গঠনকারী রশ্মি অনুসরণের কয়েকটি উদাহরণ

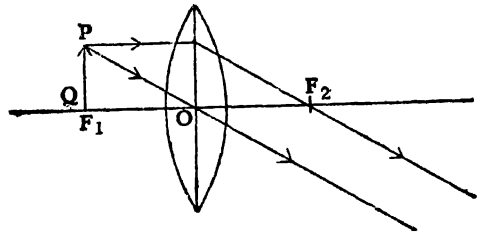
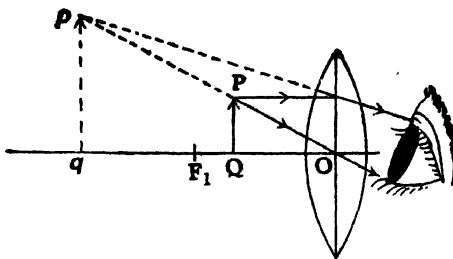
উত্তল লেন্‌স

[Convex Lens]

৮০নং চিত্র : বস্তু $2f$ হইতে দূরে

1. বস্তু, লেন্‌স হইতে $2f$ অপেক্ষা অধিক দূরে, বিম্ব বিপরীত দিকে f এবং $2f$ এর মধ্যে ; অবশীর্ষ সদ্‌বিম্ব এবং আয়তনে সংকুচিত (reduced)।

2. বস্তুর দূরত্ব ঠিক $2f$; বিম্বের দূরত্বও বিপরীত দিকে ঠিক $2f$, অবশীর্ষ, সদ্‌বিম্ব, আয়তনে বস্তুর সমান।

৮১নং চিত্র : বস্তুর দূরত্ব ঠিক $2f$

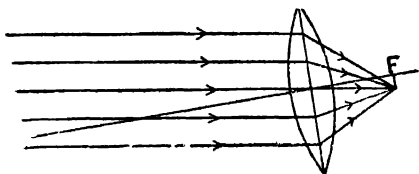
3. বস্তুর দূরত্ব f এবং $2f$-এর মধ্যে : বিম্ব বিপরীত দিকে $2f$-এর বাহিরে, অবশীর্ষ সদ্‌বিম্ব, আয়তনে বিবর্ধিত (magnified).

৮২নং চিত্র : বস্তুর দূরত্ব f ও $2f$-এর মধ্যে

4. বস্তুর দূরত্ব ঠিক f ; P বিন্দু হইতে অপসৃত রশ্মিগুলি লেন্‌সের দ্বারা প্রতিসরণের ফলে সমান্তরাল হইয়া যাইবে। সুতরাং, প্রকৃতপক্ষে কোনও বিম্ব গঠিত হইতে দেখা যাইবে না। সমান্তরাল রশ্মিগুলি অসীম দূরত্বে মিলিত হইবে। সুতরাং অসীম দূরত্বে বিম্ব গঠিত হইবে বলা যাইতে পারে।

৮৩নং চিত্র : বস্তুর দূরত্ব ঠিক f

5. বস্তুর দূরত্ব f-এর কম ; P বিন্দু হইতে অপসৃত রশ্মিগুলি লেন্‌সের দ্বারা প্রতিসরণের ফলে লেন্‌সের বিপরীত দিকে অপসারী (diverging) কিরণে পরিণত হইবে। সুতরাং ঐ দিকে উহাদের মিলিত হইবার কোনও সম্ভাবনাই থাকিবে না। কিন্তু উহাদের পথরেখাগুলিকে পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করিলে, মনে

৮৪নং চিত্র : বস্তুর দূরত্ব f-এর কম

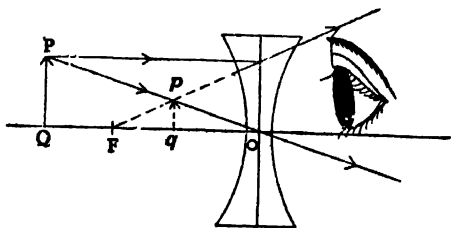
করা যাক, উহারা p বিন্দুতে মিলিত হইল। ঐ p বিন্দু হইতে অঙ্কিত লম্ব pq রেখা বিম্বের অবস্থান ও আয়তন নির্দেশ করিবে। এক্ষেত্রে বিম্ব বস্তুর সহিত একই দিকে অবস্থিত, উংশীর্ষ অসদ্‌বিম্ব এবং আয়তনে বিবর্ধিত (magnified) হইবে। প্রথমে যে বীক্ষণ কাচের দ্বারা ছোট বস্তুকে বড় দেখাইবার কথা বলা হইয়াছে, তাহা এইরূপে দেখা যায়।

এই প্রকার বিম্বকে (অর্থাৎ অসদ্‌বিম্বকে) পর্দায় ধরা যাইবে না, কিন্তু বস্তুর বিপরীত দিকে লেন্‌সের কাছে চোখ রাখিলে pq অবস্থানে বিম্বটিকেই দেখা যাইবে, PQ বস্তুকে দেখা যাইবে না।

6. বস্তু বহুদূরে (কার্যত অসীম দূরত্বে) অবস্থিত। এখানে বস্তু হইতে আগত রশ্মিগুলি সমান্তরাল কিরণের আকারে লেন্‌সের উপর পড়িয়া লেন্‌সের ফোকাসের সমান দূরত্বে একটি বিন্দুতে মিলিত হইবে। যদি কোনও সমান্তরাল কিরণ অক্ষের সহিত সমান্তরাল না হয়, তাহা হইলে লেন্‌সের দ্বারা প্রতিসরণের পরে উহারা ফোকাসীয় তলে (focal plane-এ) কোনও বিন্দুতে মিলিত হয়। (কোনও লেন্‌সের ফোকাসের ভিতর দিয়া উহার অক্ষের সহিত লম্বভাবে যে তলটি অবস্থিত হয় তাহাকে ঐ লেনসের ফোকাসীয় তল বলে।)

৮৫নং চিত্র : বস্তু অসীম দূরত্বে

বিম্বটি সদ্‌বিম্ব এবং আয়তনে অত্যন্ত সংকুচিত (কার্যত একটি বিন্দুর মতো) হইবে। সূর্যরশ্মিকে এইরূপে আতশী কাচের দ্বারা অভিসারী কিরণে পরিণত করিয়া কাগজ জ্বালানোর কথা প্রথমেই বলা হইয়াছে।

অবতল লেন্‌স

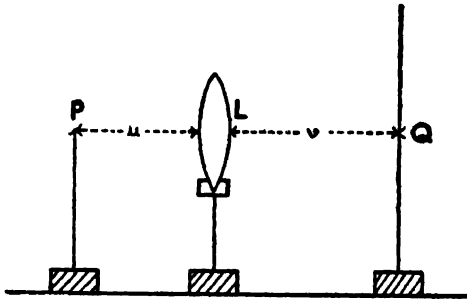
অবতল লেন্‌স (Concave lens)-এর ক্ষেত্রে বস্তুকে যেখানেই লওয়া যাক, বিম্ব সর্বদাই বস্তুর দিকে অবস্থিত উংশীর্ষ (erect) ও অসদ্‌বিম্ব (virtual image) হইবে এবং আয়তনে সংকুচিত (reduced) হইবে। সুতরাং অবতল লেন্‌স দ্বারা কখনও সদ্‌বিম্ব (real image) পাওয়া যায় না। এইরূপ অসদ্‌বিম্বকেও দেখিতে হইলে বস্তুর বিপরীত দিকে লেন্‌সে কাছে চোখ রাখিয়া দেখিতে হইবে। তখন PQ বস্তুকে আর দেখা যাইবে না, কেবল উহার বিম্ব pqকেই দেখা যাইবে।

৮৬নং চিত্র : অবতল লেন্‌সের বিম্ব

বস্তুর বিভিন্ন অবস্থানে বিম্বের পরিবর্তন

নিম্নের ছক্ হইতে বস্তুর বিভিন্ন অবস্থানের জন্য বিম্বের অবস্থান, আয়তন, প্রকৃতি প্রভৃতি জানা যাইবে।

বস্তুর অবস্থান	বিম্বের অবস্থান	বিম্বের আয়তন ও প্রকৃতি
উত্তল লেন্স [Convex lens]		
1. বস্তুর দূরত্ব f-এর কম।	বিম্ব বস্তুর দিকে বস্তুর পিছনে।	উৎশীর্ষ, অসদ্বিম্ব, আয়তনে বিবর্ধিত।
2. বস্তুর দূরত্ব ঠিক f.	বস্তুর বিপরীত দিকে অসীম দূরত্বে।	বিম্বের প্রকৃতি অনির্দিষ্ট। অর্থাৎ সদ্বিম্ব কি অলীক (অসদ্বিম্ব) নির্দিষ্ট বলা যায় না।
3. বস্তুর দূরত্ব f ও 2-এর মধ্যে।	বস্তুর বিপরীত দিকে $2f$-এর বাহিরে।	অবশীর্ষ এবং সদ্বিম্ব, আয়তনে বিবর্ধিত।
4. বস্তুর দূরত্ব ঠিক $2f$.	বস্তুর বিপরীত দিকে ঠিক $2f$ দূরত্বে।	অবশীর্ষ এবং সদ্বিম্ব, আয়তনে বস্তুর সমান।
5. বস্তুর অবস্থান $2f$-এর বেশী কিন্তু খুব দূরে নয়।	বস্তুর বিপরীত দিকে $2f$ ও f-এর মধ্যে।	অবশীর্ষ এবং সদ্বিম্ব, আয়তনে বস্তু হইতে ছোট।
6. বস্তুর দূরত্ব অসীম।	লেন্সের বিপরীত দিকে f দূরত্বে।	অবশীর্ষ এবং সদ্বিম্ব, আয়তনে খুব ছোট, প্রায় বিন্দুর মত।
অবতল লেন্স [Concave lens] 1. বস্তু যে-কোনও অবস্থানে।	বিম্ব সর্বদা বস্তুর দিকে এবং বস্তু ও লেন্সের মাঝখানে।	উৎশীর্ষ, অসদ্বিম্ব, আয়তনে সংকুচিত।

পিনের সাহায্যে লেন্‌সের ফোকাসীয় দূরত্ব নির্ণয়

৮৭নং চিত্র

P,Q দুইটি পিন এবং L উত্তল লেন্‌সটিকে উপযুক্ত স্ট্যাণ্ডের উপর এমন ভাবে রাখা হয় যাহাতে উহাদের সমতল টেবিলের উপর বসাইলে পিন দুইটির মাথা ও লেন্‌সের কেন্দ্র সমান উচ্চতায় থাকে। কোনও একটি পিনকে (যেমন P) লেন্‌স হইতে এমন দূরে রাখা হয় যাহাতে বিপরীত দিকে একটি উল্‌টা বিম্ব দেখা যায়। এখন দ্বিতীয় পিন Q-কে ঠিক ঐ বিম্বের অবস্থানে রাখা হয়। (Q-কে রাখা ঠিক হইলে মাথা নাড়িলে দেখা যাইবে P-এর বিম্ব ও Q একই সঙ্গে নড়িতেছে। ইহাকে Parallax দূর করা বলে।) লেনস্‌টির কেন্দ্রস্থল হইতে P ও Q-এর দূরত্ব স্কেল দ্বারা মাপা হয়। ইহারা যথাক্রমে u ও v হইবে। P পিনটিকে বিভিন্ন অবস্থানে রাখিয়া পরীক্ষাটির পুনরাবৃত্তি করা হয়। প্রত্যেকবারে প্রাপ্ত u ও v-এর মান $\frac{1}{f}=\frac{1}{v}+\frac{1}{u}$ সূত্র প্রয়োগ করিয়া f-এর মান পাওয়া যাইবে। উহাদের গড় নির্ণেয় ফোকাসীয় দূরত্ব।

সারাংশ

লেন্‌স (Lens): একটি বা দুইটি বক্রতলের দ্বারা বেষ্টিত কোনও স্বচ্ছ মাধ্যমের ক্ষুদ্র অংশকে লেন্‌স বলে। বীক্ষণ কাচ (magnifying glass) এক প্রকারের লেন্‌স।

বিভিন্ন প্রকারের লেন্‌স: বেষ্টনকারী তলের গঠন অনুসারে নানা রকমের লেন্‌স হইয়া থাকে। কোনও লেন্‌সের দুইটি তলই গোলকাকার (spherical) ও লেন্‌সটি মাঝখানে পুরু ও কিনারার দিকে পাতলা হইলে উহাকে উভোত্তল (biconvex) লেন্‌স বা কেবল **উত্তল** (convex) লেন্‌স বলা হয়। আবার কোনও লেন্‌সের দুইটি তলই গোলকাকার ও লেনস্‌টি মাঝ-খানে পাতলা ও কিনারার দিকে পুরু হইলে উহাকে উভাবতল (biconcave) অথবা কেবল **অবতল** (concave) লেন্‌স বলে। অন্যরূপ বলা না থাকিলে উত্তল বা অবতল লেন্‌সের উভয় দিকের গোলকাকার তলের বক্রতা বা ব্যাসার্ধ সমান ধরিতে হইবে অর্থাৎ উহাদের সম-উত্তল বা সম-অবতল লেন্‌স মনে করিতে হইবে।

প্রধান অক্ষ বা **অক্ষ** (Principal Axis): কোনও লেন্‌সের উভয় তলের কেন্দ্রবিন্দু দুইটির সংযোজক সরলরেখাকে লেন্‌সটির প্রধান অক্ষ বলে।

উত্তল লেন্সের ভিতর দিয়া কোনও আলোকের কিরণ প্রতিসৃত হইলে কিরণটির রশ্মিগুলি পরস্পর কাছে সরিয়া আসে বা উহাদের অভিসরণ (convergence) হয়; কিন্তু অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে রশ্মিগুলির অপসরণ (divergence) হয়। এইজন্য উত্তল লেন্সকে অভিসারী (converging) লেন্স এবং অবতল লেন্সকে অপসারী (diverging) লেন্স বলে।

মূল ফোকাস বা **ফোকাস** (Principal Focus or Focus): কোনও **উত্তল** লেন্সের অক্ষের সহিত সমান্তরাল একটি কিরণ লেনসের ভিতর প্রতিসরণের পর একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে মিলিত হয়। উহাকে লেনসের ফোকাস বলে।

কোনও **অবতল** লেন্সের অক্ষের সহিত সমান্তরাল একটি কিরণ লেন্সের ভিতর প্রতিসরণের পরে লেন্সটির পশ্চাৎ দিকের একটি নির্দিষ্ট বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়। এই বিন্দুটিকে লেন্সটির ফোকাস বলে।

লেন্স-কেন্দ্র (Optical centre): প্রত্যেক লেন্সের মাঝখানে একটি বিন্দু থাকে, যে বিন্দু দিয়া কোনও আলোকরশ্মি গমন করিলে উহা আপতিত রশ্মির সহিত সমান্তরাল পথে লেন্স হইতে নির্গত হয়। ঐ বিন্দুকে লেন্স-কেন্দ্র বলে। লেন্সটি পাতলা হইলে আপতিত ও নির্গত রশ্মি একই সরলরেখায় গমন করিতেছে ধরা যাইতে পারে। পাতলা সমোত্তল লেন্সের লেন্সকেন্দ্রটি অক্ষের উপর লেন্সটির মাঝামাঝি অবস্থিত বলা যাইতে পারে।

ফোকাসীয় দূরত্ব (Focal length): কোনও লেন্সের লেন্স-কেন্দ্র ও ফোকাসের দূরত্বকে উহার ফোকাসীয় দূরত্ব বলে।

চিহ্ন সম্বন্ধে নিয়ম: যে দিকে বস্তু অবস্থিত, অর্থাৎ যে দিক হইতে আলোকরশ্মি লেন্সের উপর পড়িতেছে সেই দিকের যে কোনও দূরত্বে যোগ চিহ্ন আরোপ করা হয়। উহার বিপরীত দিকের সকল দূরত্বে বিয়োগ চিহ্ন আরোপ করা হয়। এই নিয়ম অনুসারে উত্তল লেন্সের ফোকাসীয় দূরত্বের বিয়োগ চিহ্ন এবং অবতল লেন্সের ফোকাসীয় দূরত্বের যোগ চিহ্ন হইবে।

লেন্সের সূত্র: উত্তল, অবতল অথবা যে কোনও প্রকার লেন্সের ক্ষেত্রে যদি বস্তুর দূরত্ব, বিম্বের দূরত্ব এবং ফোকাসীয় দূরত্বের সাংখ্যমান যথাক্রমে u, v এবং f হয় তাহা হইলে, $\frac{1}{f}=\frac{1}{v}-\frac{1}{u}$ সূত্রটির দ্বারা উহাদের সম্বন্ধ প্রকাশিত হইবে।

বিবর্ধন (Magnification): লেন্সের দ্বারা রৈখিক

$$\text{বিবর্ধন} = \frac{\text{বিম্বের উচ্চতা}}{\text{বস্তুর উচ্চতা}}$$; বিবর্ধনকে m অক্ষর দ্বারা সূচিত করিলে $m=\frac{v}{u}$

উত্তল লেন্স দ্বারা সদ্‌বিম্ব ও অসদ্‌বিম্ব দুই প্রকারের বিম্বই গঠিত হইতে পারে। ফোকাসীয় দূরত্বের মধ্যে বস্তু থাকিলে অসদ্‌বিম্ব গঠিত হয়। ফোকাসীয় দূরত্বের বাহিরে বস্তু রাখিলে সর্বদা সদবিম্ব গঠিত হয় এবং বস্তুর দূরত্ব অনুসারে বিম্ব বড় অথবা ছোট হয়। সদ্‌বিম্ব সর্বদা বস্তুর বিপরীত

দিকে এবং অবশীর্ষ (inverted) বা উলটা হইয়া থাকে। কিন্তু অসদ্‌বিম্ব বস্তুর সহিত একই দিকে এবং উৎশীর্ষ (erect) বা সোজা হইয়া থাকে। অবতল লেন্‌সের ক্ষেত্রে বিম্ব সর্বদা বস্তুর দিকে, বস্তু হইতে আকারে ছোট, অসদ্‌বিম্ব এবং উৎশীর্ষ হয়।

উত্তল লেন্‌সের ফোকাসীয় দূরত্ব নির্ণয়ঃ একটি মোমবাতিকে বস্তু হিসাবে ধরিয়া লেন্‌সটি হইতে উপযুক্ত দূরত্বে একটি পর্দা ধরিলে পর্দার উপর বিম্ব গঠিত হইবে। ইহার সাহায্যে অথবা একটি পিনকে বস্তু ধরিয়া আর একটি পিন দ্বারা উহার বিম্বের অবস্থান নির্ণয় করিয়াও উত্তল লেন্‌সের ফোকাসীয় দূরত্ব নির্ণয় করা যায়। এখন লেন্‌স সূত্রে উপযুক্ত চিহ্ন প্রয়োগ করিয়া প্রাপ্ত

$f = -\frac{uv}{u+v}$ সূত্র হইতে f-এর মান নির্ণয় করা যাইবে।

প্রশ্নাবলী

1. *Define with suitable diagrams : a lens, a convex lens, a concave lens, Principal Axis, Focus (of a convex lens and a concave lens), Optical centre or lens centre, Focal length.*

2. *Explain with diagrams what you understand by a real and a virtual images formed by a lens.*

3. *Draw a ray diagram showing the formation of images of a point object by a convex and a concave lens.*

4. *What are the laws for sign convention applied to optical distances ?*

5. *Obtain the lens formula by taking a convex lens and a point object.*

6. *The focal length of a convex lens is 10 c.m. An object 8 c.m. in height is at a distance of 15 c.m. from the lens. Trace the rays to find out the position and size of the image. Verify your result by applying the lens formula.*

7. *Solve the problem 6 by considering the lens to be concave.*

8. *Obtain the relation* $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$ *by taking a convex lens and an object of finite dimension. What is linear magnification ? Find a formula which relates magnification with* u *and* v.

9. *Trace the rays showing the image formation in the following cases : (i) A real and magnified image by a convex lens (ii) A real and reduced image by a convex lens ; (iii) A virtual image by a convex lens ; (iv) An image by a concave lens.*

10. *Describe the u-v method for finding the focal length of a convex lens.*

11. *Draw a ray diagram showing how a small object looks larger when seen through a magnifying glass.*

12. *Using necessary instrument like scale and compass draw suitable lenses and trace the rays forming the following images : (i) a magnified real image ; (ii) a reduced real image ; (iii) a real image of the same size ; (iv) a real image reduced to a point ; (v) a magnified virtual image ; (vi) a reduced virtual image.*

13. *An object being placed at a distance of 20 c. m. from a lens a real image three times magnified is formed. Find the nature and the focal length of the lens.*

14. *An object being placed 12 c. m. from a lens, its image is formed on the same side and 10 c.m. from the lens. Find the nature and the focal length of the lens. Can the image be obtained on a screen ?*

15. *An object 2 inches high being placed at a distance of 16 inches from a lens, a 4 inches high image is formed on a screen. Find the focal length and the nature of the lens. If the object is brought to a distance of 8 inches from the lens, what will be the position, nature and size of the image ?*

16. *The focal length of a concave lens is 15 inches. If an object is placed at a distance of 10 inches from the lens, what will be the position, nature and size of the image ? Trace the rays showing the formation of the image.*

17. *The focal length of a convex lens is 12 c.m. If an object is placed 9 c.m. away from this lens, what will be the position, nature and size of the image formed ? Draw a diagram showing how the image will be visible.*

॥ উত্তর ॥

6. লেন্স হইতে 30 সে. মি. বস্তুর বিপরীত দিকে, উচ্চতা 16 সে. মি.

7. লেন্স হইতে 6 সে. মি. একই দিকে উচ্চতা $3\frac{1}{8}$ সে. মি, 13. উত্তল 15 সে. মিঃ, 14. অবতল, 60 সে. মি. না, 15. উত্তল, $10\frac{2}{3}$ ইঞ্চি ; বস্তুর দিকে, লেন্স হইতে 32 ইঞ্চি, 8 ইঞ্চি দীর্ঘ, উৎশীর্ষ এবং অসদ্বিম্ব 16. বস্তুর দিকে, লেনস হইতে 6 ইঞ্চি, বস্তুর $\frac{3}{5}$ অংশ দীর্ঘ, উৎশীর্ষ এবং অসদ্বিম্ব, 17. বস্তুর দিকে, লেনস হইতে 36 সে. মি, উৎশীর্ষ, অসদ্বিম্ব এবং 4 গুণ বিবর্ধিত।

।। দ্বিতীয় খণ্ড ।।

Syllabus

PHYSICS

The course shall comprise :

THEORETICAL

SOUND : Production and propagation of sound ; Sound due to vibration ; Material medium necessary ; Ideas on wave propagation.

Action of tuning fork—Velocity of sound in air, solids and liquids ; Reflection of sound and echo ; Echo depth-sounding.

Musical sounds—Loudness, pitch and quality ; Intensity, frequency, harmonics and overtones ; Idea of resonance, Vibration of stretched strings and air columns (sonometer and organ pipes) ; Velocity of sound by resonance column.

MAGNETISM : Simple phenomena of magnetism, Magnetic poles ; Action of like and unlike poles, Magnetic materials ; Magnetic Induction ; Magnetic field ; Earth's magnetic field ; Floating magnet, and suspended magnet Experiments ; Idea o magnetic lines of force ; Mapping, magnetic fields and determination of neutral points ; Localisation of poles of a magnet ; Magnetic shielding ; Destruction magnetism.

Molecular theory of magnetism, Making magnets ; Electromagnets.

Terrestrial magnetism, Earth's magnetic poles ; Magnetic dip ; Navigator's compass.

ELECTROSTATICS : Two kinds of static charges—Conductors and insulators ; Pith-ball experiments ; Gold-leaf electroscope ; Charging by contact and by induction ; Testing charges by Gold-leaf electroscope ; Charges concentrate at points ; Lightning conductor.

Tho electron as unit negative charge.

CURRENT ELECTRICITY : Electric current ; Experiments on heating, chemical and magnetic effects,

Sources of supply—Voltaic cells (simple cell, Leclanche cell, dry cell) ; Polarisation and local action ; Internal resistance.

Conditions of current flow ; Potential difference ; E. M. F. ; Property of resistance ; Ohm's law, Coulomb ; Ampere ; Volt ; Ohm.

Control of current flow ; Switches and resistances ; Idea of household wire ; Use of fuses.

Heating effect of current (qualitative study by Joule's method—temperature *vs* current graph.

Action of current on magnet and magnet on current ; Fields due to current in a straight wire, Circular coil and solenoid ; Tangent galvanometer, Barlow's wheel, Roget's vibrating spiral, Simple motor.

Electromagnetic Induction ; Experiments showing the effect ; Faraday's law ; Simple dynamo.

॥ বিষয় নির্দেশ ॥

প্রথম অধ্যায় ॥ শব্দ

দ্বিতীয় অধ্যায় ॥ শব্দের বৈশিষ্ট্য

তৃতীয় অধ্যায় ॥ চুম্বক তত্ত্ব

চতুর্থ অধ্যায় ॥ চৌম্বক বলক্ষেত্র ও বলরেখা

শব্দ
[Sound]

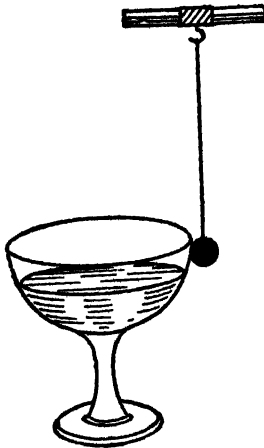
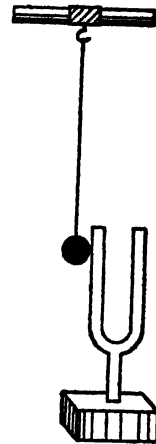
শব্দের উৎপত্তি
[Production of Sound]

কাঁসর, ঘণ্টা প্রভৃতি বাজাইবার সময় একটু লক্ষ্য করিলেই বুঝা যায় যে আঘাত দিয়া শব্দ উৎপন্ন করার সময় তাহারা কাঁপিতেছে। শুধু কাঁসর, ঘণ্টা নয়, যে কোন বস্তু হইতে শব্দ নিঃসৃত হইলে সেই বস্তুটি কাঁপিতে থাকে। সুতরাং বলা যায়, বস্তুতে **কম্পন** (vibration) সৃষ্টি হইলে শব্দ উৎপন্ন হয়। যে বস্তুটি কম্পনের দ্বারা শব্দের সৃষ্টি করে তাহাকে শব্দের উৎস (source of sound) বা **স্বনক** বলে। বলা বাহুল্য, বস্তুতে কম্পন সৃষ্টি হইলে তাহার প্রত্যেকটি 'কণা' কাঁপিতে থাকে।

পরীক্ষাগারে (laboratory) শব্দ উৎপন্ন করার জন্য **সুর-শলাকা** (tuning fork) ব্যবহৃত হইয়া থাকে। ইংরাজী (U) অক্ষরের আকৃতির একটি ইস্পাতদণ্ডে ইস্পাতের একটি হাতল পরাইয়া ইহা তৈয়ারি করা হয়। ইস্পাতদণ্ডের যে দুইটি অংশ U-অক্ষর উৎপন্ন করিয়াছে তাহাদের প্রত্যেকটিকে সুর-শলাকার বাহু (arm, prong) বলে। সুর-শলাকার যে কোন বাহুতে আঘাত করিলে তাহা কাঁপিতে থাকে এবং শব্দ উৎপন্ন হয়। **কাঁপিবার সময় ইহার দুইবাহু পর্যায়ক্রমে একসঙ্গে ভিতরের দিকে যায় ও বাহিরের দিকে আসে।** সুর-শলাকার বাহুতে আঘাত করিয়া যে শব্দের সৃষ্টি হয় তাহা ভাল শুনিতে পাওয়া যায় না। কম্পমান সুর-শলাকাকে কানের খুব কাছে আনিলে তবে শুনিতে পাওয়া যায়। কিন্তু সুর-শলাকাকে কম্পমান অবস্থায় যদি কোন টেবিল বা ধাতুনির্মিত বাক্সের উপর বসানো যায় তাহা হইলে শব্দ খুব জোরে শুনিতে পাওয়া যায়। যে সমস্ত বস্তুর উপর ক্ষীণ শব্দ উৎপন্নকারী কম্পমান বস্তুকে বসাইলে শব্দ জোরে শুনিতে পাওয়া যায় তাহাদিগকে **অনুনাদী বস্তু** (resonating bodies) বলে।

বস্তুর কম্পনই যে শব্দের উৎপত্তির কারণ সেই বিষয়ে নীচে একটি পরীক্ষা দেওয়া হইল।

পরীক্ষা : কাচের একটি পাত্রের দুই-তৃতীয়াংশ জলে ভরতি করা হইল।

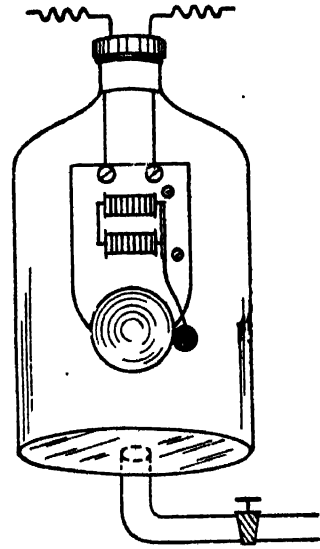
ছোট একটি শোলার বলকে সুতায় বাঁধিয়া কোন স্থির অবলম্বন হইতে এরূপভাবে ঝুলাইয়া দেওয়া হইল যাহাতে শোলার বলটি পাত্রের বাহিরের দিক স্পর্শ করিয়া থাকে। এইবার একটি "বেহালার ছড়" পাত্রের গায়ে ঘষিলে শব্দ উৎপন্ন হইবে। শব্দ হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে দেখা যাইবে যে শোলার বলটি লাফাইয়া দূরে সরিয়া যাইতেছে। পাত্রটি কাঁপিতেছে বলিয়াই শোলার

১নং চিত্র : জারের কম্পন

২নং চিত্র : সুর-শলাকার কম্পন

বলটি আন্দোলিত হইতেছে। লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে শব্দ উৎপন্ন করার সময় পাত্রের জলও কাঁপিতেছে। অনুরূপভাবে একটি শোলার বলকে সুর-শলাকার একটি বাহুর সহিত ঠিক স্পর্শ করিয়া রাখা হইল। সুর-শলাকায় শব্দ উৎপন্ন করিলে দেখা যাইবে শোলার বলটি লাফাইয়া দূরে সরিয়া যাইতেছে। শব্দ উৎপন্ন হইবার সময় সুর-শলাকার কম্পনের জন্যই শোলার বলটি এইরূপ-ভাবে দূরে সরিয়া যাইতেছে। সুতরাং এই দুই পরীক্ষা হইতে বলা যাইতে পারে, **বস্তুতে কম্পন সৃষ্টির ফলেই শব্দ উৎপন্ন হয়।**

বিশেষ দ্রষ্টব্য : বিভিন্ন পরীক্ষার পর বৈজ্ঞানিকেরা সিদ্ধান্ত করিয়াছেন, বস্তুর (বস্তুমধ্যস্থ কণার) কম্পনসংখ্যা প্রতি সেকেণ্ডে 20 হইতে 20,000 হাজারের মধ্যে হইলে তবেই শব্দ শুনিতে পাওয়া যায়। কম্পনের সংখ্যা বেশী অথবা কম হইলে শব্দ শুনিতে পাওয়া যায় না। বিভিন্ন ব্যক্তির ক্ষেত্রে এই কম্পন-সংখ্যার তারতম্য ঘটে।

শব্দের বিস্তারের জন্য বাস্তব মাধ্যমের প্রয়োজন : পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে, শব্দের উৎস ও শ্রোতার অবস্থানের মধ্যে যদি কোনও

বাস্তব মাধ্যম (material medium) না থাকে তাহা হইলে শব্দ শুনিতে পাওয়া যায় না অর্থাৎ স্বনক হইতে শব্দের বিস্তারলাভ ঘটে না। নিম্নে এই বিষয়ে একটি পরীক্ষা দেওয়া হইল।

পরীক্ষা: একটি বায়ুনিষ্কাশন যন্ত্রের নলসংলগ্ন পাটাতনটি গোল বোতলের আকৃতির একটি ঢাকনা দিয়া ঢাকিয়া দেওয়া হইল। এই ঢাকনাটির নীচের দিক খোলা এবং উপরের মুখটি রবারের একটি ছিপি দ্বারা বন্ধ। ঢাকনাটি পাটাতন হইতে তুলিয়া ছিপি হইতে একটি তড়িৎঘণ্টা (Electric bell) ঝুলাইয়া দিবার পর ইহাকে আবার পাটাতনটির উপর বসাইয়া দেওয়া হইল। বায়ু-নিরুদ্ধ করিবার জন্য পাটাতন ও ঢাকনার জোড়ের মুখে একজাতীয় চর্বি লেপিয়া দেওয়া হইল। বাহির হইতে তড়িৎঘণ্টার মধ্যে বিদ্যুৎ চালনা করিলে ঘণ্টাটি বাজিবার শব্দ শুনিতে পাওয়া যাইবে। এইবার বায়ু-নিষ্কাশন যন্ত্রের দ্বারা ঢাকনার ভিতরের বায়ু বাহির করিয়া দিলে দেখা যাইবে যে যদিও বিদ্যুৎ-প্রবাহের ফলে ঘণ্টার উপর হাতুড়ি পড়িতেছে তবু বাহিরে বিশেষ কোন শব্দ শুনিতে পাওয়া যাইতেছে না। এখন যদি ঢাকনার ভিতরে আবার বায়ু প্রবেশ করিতে দেওয়া হয় তাহা হইলে পূর্বের মতো স্পষ্টভাবে ঘণ্টার শব্দ শুনিতে পাওয়া যাইবে। এই পরীক্ষা হইতে আমরা সিদ্ধান্ত করিতে পারি, স্বনক ও শ্রোতার মধ্যে নিরবচ্ছিন্ন বাস্তব মাধ্যম না থাকিলে শব্দ শুনিতে পাওয়া যায় না অর্থাৎ **শব্দের বিস্তারের (propagation of sound) জন্য বাস্তব মাধ্যমের প্রয়োজন।**

৩নং চিত্র: বাস্তব মাধ্যমের প্রয়োজনীয়তা

কম্পনবিষয়ক কয়েকটি সংজ্ঞা: একটি গতিশীল বস্তুকণা নির্দিষ্ট সময়ের শেষে একই স্থানে ফিরিয়া আসিলে তাহার গতিকে **পর্যাবৃত্ত গতি (Periodic motion)** বলে। পর্যাবৃত্ত গতিশীল বস্তুকণার গতিপথ সরলরেখা (straight line), বৃত্ত (circle) অথবা উপবৃত্ত (ellipse) হইতে পারে। **যদি পর্যাবৃত্ত গতিশীল কোনও বস্তুকণার গতিপথ সরলরেখা হয় এবং**

বস্তুকণার উপর ক্রিয়াশীল বল তাহার স্থির অবস্থান হইতে দূরত্বের সমানুপাতী ও স্থির অবস্থান অভিমুখী হয় তাহা হইলে তাহার (বস্তুকণার) সেই গতিকে সরল পর্যাবৃত্ত গতি (simple harmonic motion) বলে। আঘাত দ্বারা বস্তুতে কম্পন সৃষ্টি করিলে বস্তুর প্রত্যেকটি কণা পর্যাবৃত্ত গতি লাভ করে। সরলরেখায় কম্পনশীল হইলে বস্তুকণার কম্পনকে সরল পর্যাবৃত্ত কম্পন (simple harmonic vibration) বলা হয়। সরল দোলকের কৌণিক বিস্তার 4° কোণের কম হইলে তাহার গতিকেও সরল পর্যাবৃত্ত গতি বলা যাইতে পারে।

কম্পনশীল কণা নিজের গতিপথ একবার ঘুরিয়া আসিলে কম্পন সম্পূর্ণ হয় অর্থাৎ একটি বিন্দু হইতে যাত্রা শুরু করিয়া পুনরায় একই দিকে সেই নির্দিষ্ট বিন্দুতে ফিরিয়া আসিলে কম্পন সম্পূর্ণ হয় এবং তাহাকে পূর্ণ কম্পন (Complete vibration) বলে।

কম্পনশীল কণা একটি পূর্ণ কম্পন সম্পূর্ণ করিতে যে সময় লইয়া থাকে তাহাকে তাহার পর্যায় কাল (Time period) বলা হয়। কম্পনশীল কণা প্রতি সেকেণ্ডে যতবার পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করে তাহাকে তাহার কম্পনাঙ্ক (Frequency) বলা হয়।

যদি কোন কম্পনশীল কণার পর্যায়কাল T হয়,

তাহা হইলে একক সময়ে তাহার কম্পনসংখ্যা $\frac{1}{T}$ হইবে।

কণার কম্পনাঙ্ককে n দ্বারা সূচিত করিলে,

সংজ্ঞানুসারে, $n=\frac{1}{T}$ অর্থাৎ $nT=1$.

উদাহরণ 1. কোনও কম্পনশীল কণার কম্পনাঙ্ক 256 প্রতি সেকেণ্ড, তাহার পর্যায়কাল কত?

$$T=\frac{1}{n},$$

সুতরাং, $T=\frac{1}{256}$ সেকেণ্ড।

উদাহরণ 2. কোনও কম্পনশীল কণার পর্যায়কাল $\frac{1}{512}$ সেকেণ্ড হইলে তাহার কম্পনাঙ্ক কত?

যেহেতু, $n=\frac{1}{T}$,

সুতরাং $n = \frac{1}{\frac{1}{512}} = 512$ প্রতি সেকেণ্ডে।

কম্পনশীল কণা স্থির অবস্থান হইতে উভয় দিকে যতদূর যায় সেই সর্বোচ্চ দূরত্বকে কম্পনের বিস্তার (Amplitude of vibration) বলে।

কম্পন ও তাহার প্রকারভেদ: কম্পন সাধারণত দুই প্রকার: (1) **অনুদৈর্ঘ্য কম্পন** (Longitudinal vibration) ও (2) **তির্যক কম্পন** (Transverse vibration).

অনুদৈর্ঘ্য কম্পন: একটি লম্বা স্প্রিংকে উর্ধ্বাধভাবে ঝুলাইয়া উহার নীচের দিক টানিয়া ছাড়িয়া দিলে দেখা যাইবে, স্প্রিংটি একবার দৈর্ঘ্যের দিকে বাড়িতেছে এবং পরক্ষণেই কমিতেছে। স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্যের হ্রাসবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে প্রত্যেকটি কণা দৈর্ঘ্য বরাবর সরলরেখায় কম্পন করিতেছে। এইরূপ কম্পনকে **অনুদৈর্ঘ্য কম্পন** (Longitudinal vibration) বলে।

তির্যক কম্পন: একটি সরু ইস্পাতের পাতের একদিক শক্তভাবে আটকাইয়া অন্য দিক দৈর্ঘ্যের সমকোণে সামান্য টানিয়া ছাড়িয়া দিলে দেখা যাইবে, ইস্পাতের পাতটি দৈর্ঘ্যের সহিত সমকোণে কম্পন করিতেছে। ইস্পাতের পাতের কম্পনের সঙ্গে সঙ্গে তাহার প্রত্যেকটি কণা দৈর্ঘ্যের সহিত সমকোণে সরলরেখায় কম্পনশীল হইয়াছে। এইরূপ কম্পনকে **তির্যক কম্পন** (Transverse vibration) বলে।

কম্পন-সৃষ্ট তরঙ্গ ও তাহার প্রকারভেদ: কোন মাধ্যমে কোনও বস্তু বা কণা কম্পন করিয়া আলোড়ন সৃষ্টি করিলে সেই আলোড়ন মাধ্যমের বিভিন্নদিকে সঞ্চালিত হয়। মাধ্যমের মধ্য দিয়া আলোড়নের এই সঞ্চালনকে তরঙ্গ (wave) বলে।

পুকুরে ঢিল ফেলিলে জলে আলোড়নের সৃষ্টি হয় এবং সেই আলোড়ন ঢেউ-এর আকারে পুকুরের অন্যত্র সঞ্চালিত হয়। যদি কেহ একটি লাঠি দ্বারা নির্দিষ্ট সময় অন্তর পুকুরের জলে আলোড়ন সৃষ্টি করিতে থাকে তাহা হইলে এই আলোড়নের ফলে ঢেউ উৎপন্ন হইবে এবং ঢেউগুলি পুকুরের অন্যত্র সঞ্চালিত হইবে। আলোড়ন যতক্ষণ বর্তমান থাকিবে ততক্ষণ ঢেউ উৎপন্ন হইবে এবং প্রত্যেকবার আলোড়নের জন্য একটি করিয়া ঢেউ সৃষ্টি হইবে।

শব্দ সৃষ্টিকারী কোন বস্তু বায়ু-মাধ্যমে কম্পন করিতে থাকিলে বাতাসে

ঢেউ-এর সৃষ্টি হয়। কম্পন-সৃষ্ট সেই ঢেউ শ্রোতার কানের পর্দায় কম্পন সৃষ্টি করিয়া শব্দের অনুভূতি জাগায়।

কম্পন-সৃষ্ট তরঙ্গ সাধারণত দুই প্রকার :

(1) অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ (Longitudinal waves), (2) তির্যক তরঙ্গ (Transverse waves).

অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ : উর্ধ্বাধভাবে ঝুলানো কোন স্প্রিংকে নীচের দিকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে তাহাতে অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের সৃষ্টি হয়। কম্পমান অবস্থায় স্প্রিংটিকে লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, স্প্রিং-এর কোনও কোনও স্থানে তারগুলি কাছাকাছি আসিতেছে আবার কোনও কোনও স্থানে তাহারা পরস্পর দূরে সরিয়া যাইতেছে। পরক্ষণেই আবার একত্রিত হওয়া তারগুলি পরস্পর দূরে সরিয়া যাইতেছে এবং দূরে সরিয়া যাওয়া তারগুলি একত্রিত হইতেছে। সুতরাং বলা যাইতে পারে, স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য বরাবর কম্পনের জন্য যে আলোড়ন সৃষ্টি হইয়াছে তাহা স্প্রিং-এর মধ্যে দৈর্ঘ্য বরাবর তরঙ্গের সৃষ্টি করিয়াছে। কোনও মাধ্যমে এইরূপ তরঙ্গের সৃষ্টি হইলে তাহাকে **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ** বলে। অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ সঞ্চালনের সময় মাধ্যমের যে অংশে কম্পনশীল কণাগুলি একত্রিত হয় তাহাকে **ঘনীস্থান** (Condensation) এবং যে অংশে কণাগুলি পরস্পর দূরে সরিয়া যায় তাহাকে **তনীস্থান** (Rarefaction) বলে। ঘনীভূত স্তর ও তনীভূত স্তর এই দুইটিকে একত্রে সমগ্র তরঙ্গ বলা হয় এবং একটি ঘনীভূত স্তর ও পরবর্তী তনীভূত স্তরের মোট দৈর্ঘ্যকে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের **তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (Wave length)** বলা হয়। কম্পনের দ্বারা শব্দ সৃষ্টি হইলে তাহা বায়ু-মাধ্যমে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের সৃষ্টি করে।

তির্যক তরঙ্গ : লম্বা একটি রবারের দড়ি (cord) উর্ধ্বাধভাবে ঝুলাইয়া উহার নীচের দিকে দৈর্ঘ্যের সমকোণে ঝাঁকানি দিলে তাহাতে তির্যক কম্পনের সৃষ্টি হয় এবং ইহার ফলে উৎপন্ন আলোড়ন তরঙ্গের আকারে উপরের দিকে সঞ্চালিত হয়। এক্ষেত্রে দেখা যায়, কণাগুলি যে দিকে কম্পন করে তরঙ্গ তাহার সহিত লম্বভাবে সঞ্চালিত হয়। এইরূপ তরঙ্গকে **তির্যক তরঙ্গ** বলে। পুকুরে ঢিল ফেলিলে জলে তির্যক তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। জলের ঢেউ লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, কোনও কোনও স্থানে জলের কণাগুলি জলের অনুভূমিক তলের উপরে উঠিয়াছে আবার কোনও কোনও স্থানে তাহারা নীচে নামিয়াছে। পরক্ষণেই আবার এই অবস্থার পরিবর্তন ঘটিতেছে। আলোড়ন-সৃষ্ট এই অবস্থার পরিবর্তন জলের বিভিন্ন অংশে সঞ্চালিত হইতেছে।

যে স্থানে জলকণাগুলি অনুভূমিক তলের উপরে থাকে তাহাকে **তরঙ্গের শীর্ষ** (Crest) বলে এবং যে স্থানে তাহারা অনুভূমিক তলের নীচে থাকে তাহাকে **তরঙ্গের পাদ** (Trough) বলে। তরঙ্গশীর্ষ ও তরঙ্গপাদ উভয়কে একত্রে **সমগ্র তরঙ্গ** বলে এবং একটি তরঙ্গের শীর্ষবিন্দু হইতে পরবর্তী তরঙ্গের শীর্ষবিন্দুর দূরত্বকে তির্যক তরঙ্গের **তরঙ্গ দৈর্ঘ্য** (wave length) বলে। আলোক, রেডিও-তরঙ্গ প্রভৃতিকে সমগ্র বিশ্বে পরিব্যাপ্ত ঈথর (ether) মাধ্যমে তির্যক তরঙ্গ রূপে গণ্য করা হয়।

শব্দের ধর্ম তরঙ্গের ধর্মের অনুরূপ : আমরা জানি কোনও বস্তুতে কম্পন সৃষ্টি করিলে শব্দের উৎপত্তি হয়। কম্পনের ফলে বস্তুর কণাগুলি শক্তি (energy) অর্জন করে, সুতরাং শব্দকে একপ্রকার শক্তি বলা যাইতে পারে। শক্তি একস্থান হইতে অন্যস্থানে কণারূপে অথবা তরঙ্গের আকারে সঞ্চালিত হইতে পারে।

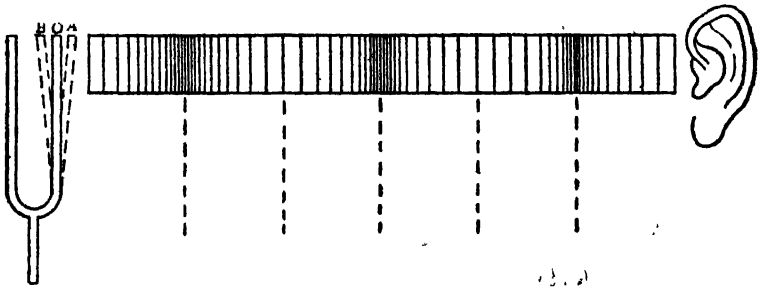
মনে করা যাক, কোন দীঘিতে একটি ছোট নৌকা স্থিরভাবে দাঁড়াইয়া আছে। আমরা দূর হইতে শক্তি প্রয়োগ করিয়া উহাকে নাড়াইতে চাই। ইহা দুই প্রকারে করা যাইতে পারে। (1) দীঘির পাড়ে দাঁড়াইয়া নৌকার উপর ঢিল ছুঁড়িলে উহা নড়িতে থাকিবে। এক্ষেত্রে প্রত্যেকটি ঢিলের গতিশক্তি নৌকায় সঞ্চারিত হওয়ার জন্য নৌকাটি নড়িতেছে। (2) যদি জলে ঢেউ সৃষ্টি করি তাহা হইলে সেই ঢেউ জলের মধ্য দিয়া সঞ্চালিত হইয়া নৌকায় প্রতিহত হইবে এবং ইহার ফলে নৌকাটি নড়িতে থাকিবে। সুতরাং দেখা যাইতেছে যে শক্তির স্থানান্তর কণা অথবা তরঙ্গের আকারে ঘটিতে পারে। অন্য কোনও তৃতীয় উপায় কল্পনা করা যায় না।

কোনও শক্তি, কণার আকারে একস্থান হইতে অন্যস্থানে গেলে মাধ্যমের কোনও প্রয়োজন নাই; কিন্তু তরঙ্গের আকারে স্থানান্তরিত হইতে হইলে মাধ্যমের অবশ্যই প্রয়োজন আছে। আমরা জানি, শব্দ বিনামাধ্যমে একস্থান হইতে অন্যস্থানে যাইতে পারে না। সুতরাং শব্দ তরঙ্গরূপে সঞ্চালিত হয় মনে করা যাইতে পারে।

প্রশ্ন উঠিতে পারে, তাপের পরিচলন প্রক্রিয়ায় যেরূপ মাধ্যমের স্থানান্তর দ্বারা তাপশক্তি অন্যত্র সঞ্চালিত হয়, শব্দের ক্ষেত্রে সেইরূপ মাধ্যমের কোনও স্থানান্তর ঘটে কিনা? যদি শব্দ সঞ্চালনের সময় মাধ্যমের কোনও স্থানান্তরের নিদর্শন পাওয়া যায়, তাহা হইলে শব্দকে আমরা তরঙ্গধর্মী নাও বলিতে পারি। পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে, শব্দের স্থানান্তরের সময় মাধ্যমে পরিচলন

প্রক্রিয়ার অনুরূপ কোন প্রকার প্রবাহ বা মাধ্যমের অংশের স্থানান্তর ঘটে না। সুতরাং শব্দকে তরঙ্গধর্মী বলা যাইতে পারে এবং তরঙ্গ সৃষ্টির জন্যই মাধ্যমের প্রয়োজন, কোনও প্রকার প্রবাহ সৃষ্টি করার জন্য নহে। ইহা ছাড়া, তরঙ্গ সম্বন্ধে বিভিন্ন পরীক্ষা করিয়া তরঙ্গের ধর্ম সম্বন্ধে যে তথ্য পাওয়া গিয়াছে, শব্দ সম্বন্ধেও পরীক্ষা দ্বারা অনুরূপ তথ্য পাওয়া গিয়াছে। সুতরাং বলা যাইতে পারে যে শব্দের ধর্ম তরঙ্গের অনুরূপ অর্থাৎ শব্দ তরঙ্গধর্মী।

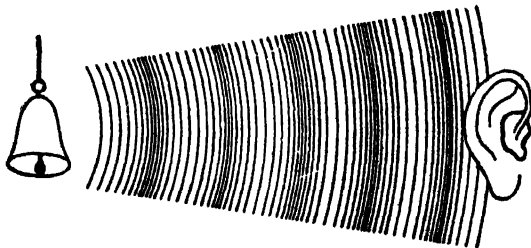
শব্দ-সঞ্চালনের সময় মাধ্যমের স্থানান্তর না হওয়ার পরীক্ষা: লোহার একটি নলকে অনুভূমিক অবস্থায় রাখিয়া একটি নিষ্কম্পভাবে জ্বলন্ত মোমবাতি রাখা হইল। অপরদিকে দুইটি কাষ্ঠখণ্ডকে পরস্পর আঘাত করিয়া শব্দ সৃষ্টি করিলে দেখা যাইবে, নিষ্কম্পভাবে জ্বলন্ত মোমবাতির শিখা শব্দের গতির দিকে সামান্য একটু হেলিয়া পুনরায় নিষ্কম্পভাবে জ্বলিতে লাগিল। শব্দ সঞ্চালনের সময় যদি মাধ্যমের স্থানান্তর হইত তাহা হইলে মোমবাতির শিখা একবারমাত্র হেলিয়া পুনরায় নিষ্কম্পভাবে জ্বলিতে সুরু করিত না। যতক্ষণ শব্দ সঞ্চালন হইত ততক্ষণই শিখাটি হেলিয়া থাকিত। সুতরাং বলা যায় শব্দের সঞ্চালনের সময় মাধ্যমের স্থানান্তর হয় না।

বায়ুমাধ্যমে শব্দের সঞ্চালন [**Propagation of sound in air**]. কম্পনশীল স্বনক বায়ুমাধ্যমে কিরূপে অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের সৃষ্টি করে এবং সেই তরঙ্গ কি ভাবে মাধ্যমের বিভিন্ন অংশে ছড়াইয়া পড়িয়া শ্রোতার কানে শব্দের অনুভূতি জাগায় তাহার সম্বন্ধে আমরা এইবার আলোচনা করিব।

৪নং চিত্র : বায়ুতে শব্দের-সঞ্চালন

মনে করা যাক, কম্পনশীল একটি সুর-শলাকা হইতে নিঃসৃত শব্দ বায়ু-মাধ্যমে সঞ্চালিত হইয়া একজন শ্রোতার কর্ণে প্রবেশ করিতেছে। চিত্রে (৪নং) সুর-শলাকার (T) ডান দিকের বাহুর স্থির অবস্থানকে O দ্বারা এবং কম্পনকালে ডান ও বাম দিকের বিস্তারকে (amplitude) OA ও OB দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে।

কম্পন করিবার সময় সুর-শলাকার ডান দিকের বাহুটি পর্যায়ক্রমে B হইতে A এবং A হইতে B বিন্দুতে যাইতে থাকে। B হইতে A অবস্থানে যাইবার সময় সুর-শলাকাটি সামনের বায়ুস্তরের উপর চাপ দেয়। ইহার ফলে ঐ বায়ুস্তরের সঙ্কোচন হয়। বায়ুর স্থিতিস্থাপকতার গুণে এই সঙ্কুচিত স্তর স্বাভাবিক অবস্থায় আসিবার চেষ্টা করে এবং ইহার ফলে উহা পরবর্তী স্তরকে চাপ দিয়া সঙ্কুচিত করে। এইরূপে সম্মুখের বিভিন্ন বায়ুস্তর পরপর সঙ্কুচিত হইতে থাকে। সুর-শলাকাটির ডান দিকের বাহু B অবস্থান হইতে A অবস্থানে আসিতে যে সময় লয় সঙ্কোচন প্রক্রিয়াও ততক্ষণ চলে। এই সময়ের মধ্যে বায়ুমাধ্যমে সৃষ্ট সঙ্কোচন কিছুদূর আগাইয়া যায়।

A অবস্থানে আসিবার পরই সুর-শলাকার বাহুটি বিপরীত দিকে যাত্রা শুরু করে এবং সঙ্গে সঙ্গে বাহু ও সংলগ্ন বায়ুস্তরের মধ্যে আংশিক শূন্যতার সৃষ্টি হয়। ইহার ফলে বায়ুস্তরের প্রসারণ ঘটে। প্রসারিত বায়ুস্তর স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসার সময় পরবর্তী স্তরের প্রসারণ হয়। এইভাবে সম্মুখের বিভিন্ন স্তর পর পর প্রসারিত হইতে থাকে। A অবস্থান হইতে B অবস্থানে আসিতে বাহুটি যে সময় লয় এই প্রসারণ প্রক্রিয়াও ততক্ষণ চলে। এই সময়ের মধ্যে প্রসারণও সঙ্কোচনের ন্যায় কিছু দূর আগাইয়া যায়।

B অবস্থানে আসিবার পর সুর-শলাকার বাহুটি আবার A-র দিকে যাত্রা শুরু করিলে বায়ুমাধ্যমে পুনরায় সঙ্কোচনের সৃষ্টি হয়। এইরূপে সুর-শলাকার কম্পনের সঙ্গে সঙ্গে সম্মুখের বায়ুস্তরের পর্যায়ক্রমে সঙ্কোচন ও প্রসারণ ঘটে এবং সেই সঙ্কোচন ও প্রসারণ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের আকারে বায়ুমাধ্যমের বিভিন্ন অংশে ছড়াইয়া পড়ে।

৫নং চিত্র : বায়ুতে শব্দতরঙ্গ

মাধ্যমের এই অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ শ্রোতার কর্ণের বায়ুর মধ্যে অনুরূপ তরঙ্গের সৃষ্টি করিয়া কর্ণের পর্দায় চাপের হ্রাসবৃদ্ধি ঘটায়। ইহার ফলে পর্দাটি কাঁপিতে থাকে। এই কম্পনের অনুভূতি শ্রোতার মস্তিষ্কে সঞ্চারিত হইয়া তাহার শ্রুতিবোধ জন্মায়।

শব্দের বেগ [Velocity of sound] পরীক্ষা দ্বারা জানা গিয়াছে, বায়ু শুষ্ক হইলে 0°C উষ্ণতায় শব্দের বেগ 332 মিটার প্রতিসেকেণ্ড বা 1090 ফুট প্রতিসেকেণ্ড। শব্দের বেগ বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর নির্ভর করে না। বায়ুর উষ্ণতা বৃদ্ধি হইলে শব্দের বেগ-বৃদ্ধি ঘটে। প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য শব্দের বেগ 61 সে. মি. বা 2 ফুট প্রতি সেকেণ্ড বৃদ্ধি পায়। বাতাসের আর্দ্রতা বৃদ্ধি হইলেও শব্দের বেগ বৃদ্ধি হয়।

উদাহরণ 1. শুষ্ক বায়ুতে 0°C উষ্ণতায় শব্দের বেগ 332 মিটার প্রতিসেকেণ্ড হইলে, 30°C উষ্ণতায় কত হইবে ?

30°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য শব্দের বেগ বৃদ্ধির পরিমাণ

$= 61 \times 30$ সে. মি. প্রতিসেকেণ্ড

$= 18{\cdot}3$ মিটার প্রতিসেকেণ্ড

$\therefore$ 30°C উষ্ণতায় শব্দের বেগ $= 332 + 18{\cdot}3 = 350{\cdot}3$ মিটার প্রতিসেকেণ্ড।

উদাহরণ 2. শুষ্কবায়ুতে 0°C উষ্ণতায় শব্দের বেগ 1090 ফুট প্রতিসেকেণ্ড হইলে, 15°C উষ্ণতায় কত হইবে ?

15°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য শব্দের বেগ বৃদ্ধির পরিমাণ

$= 2 \times 15$ ফুট প্রতিসেকেণ্ডে

$= 30$ " "

$\therefore$ 15°C উষ্ণতায় শব্দের বেগ $= 1090 + 30 = 1120$ ফুট প্রতিসেকেণ্ড।

উন্মুক্ত স্থানে শব্দের বেগ নির্ণয় [Velocity of sound in open air]ঃ কয়েক মাইল ব্যবধানে দুইটি পাহাড় নির্বাচন করা হইল। একটিতে একজন লোক কামান সহ ও অপরটিতে আর একজন লোক স্টপওয়াচ সহ অবস্থান করিতে লাগিল। প্রথম লোকটি কামান ছুঁড়িলে দ্বিতীয় লোকটি প্রথমে কামানের ধোঁয়া ও আগুন দেখিতে পাইবে এবং তাহার পর কামানের শব্দ শুনিতে পাইবে। আলোকের বেগ (186000 মাইল প্রতিসেকেণ্ড) খুব বেশী হওয়ার জন্য লোকটি কামান ছোঁড়ার সঙ্গে সঙ্গেই ধোঁয়া ও আগুন দেখিতে পাইবে। ইহা দেখিতে পাওয়ার সঙ্গে সঙ্গে দ্বিতীয় লোকটি স্টপওয়াচ চালাইয়া দিবে এবং কামানের শব্দ শুনিতে পাওয়া মাত্রই সে স্টপওয়াচ বন্ধ করিবে। কামানের ধোঁয়া ও আগুন দেখা এবং শব্দ শোনার মধ্যে সময়ের ব্যবধান স্টপওয়াচ নির্দেশ করিবে। সুতরাং বলা যাইতে পারে পাহাড় দুইটির মধ্যের দূরত্ব অতিক্রম করিতে শব্দ স্টপওয়াচ-নির্দেশিত সময় লইয়াছে।

অতএব পাহাড় দুইটির দূরত্ব মাপার পর সেই দূরত্বকে স্টপওয়াচ-নির্দেশিত সময় দ্বারা ভাগ করিলে শব্দের বেগ পাওয়া যাইবে।

যদি পাহাড় দুইটির দূরত্ব d হয় এবং স্টপওয়াচ- নির্দেশিত সময় t হয়, তাহা হইলে শব্দের বেগ $(v)=\frac{d}{t}$.

বিশেষ দ্রষ্টব্য : বায়ুপ্রবাহ বর্তমান থাকিলে উভয় দিকের পাহাড় হইতে কামান ছুঁড়িয়া শব্দের বেগ নির্ণয় করা হয়। পূর্বোক্ত পরীক্ষায় বাতাস স্থির ধরা হইয়াছে।

উদাহরণ। একটি কামানের আগুন দেখার দুই সেকেণ্ড পর আওয়াজ শোনা গেল। দর্শনের অবস্থান হইতে কামানের দূরত্ব কত? (শব্দের বেগ = 1120 ফুট/সেকেণ্ড)

নির্ণেয় দূরত্ব = 2 সেকেণ্ডে শব্দের অতিক্রান্ত দূরত্ব
$= 2 \times 1120$
$= 2240$ ফুট।

বিভিন্ন মাধ্যমে 0°C উষ্ণতায় শব্দের বেগের মান নিম্নে দেওয়া হইল :

মাধ্যম	শব্দের বেগ (মিটার প্রতিসেকেণ্ড)
বায়ু	332
হাইড্রোজেন	1286
অক্সিজেন	317
কার্বন ডাই-অক্সাইড	217
তামা	3600
ইস্পাত	5100
কাঁচ	5000
জল	1400

শব্দের বেগ, কম্পনাঙ্ক ও তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের পরস্পর সম্বন্ধ

মনে করা যাক, কোনও স্বনকের কম্পনাঙ্ক n. যেহেতু প্রত্যেক বার কম্পনের জন্য স্বনকটি বায়ুমাধ্যমে একটি করিয়া অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের সৃষ্টি করে, সুতরাং স্বনকটি প্রতিসেকেণ্ডে n তরঙ্গের সৃষ্টি করিতেছে। যদি তরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ হয়, তাহা হইলে 1 সেকেণ্ডে স্বনকটি যতগুলি তরঙ্গ সৃষ্টি করিয়াছে তাহারা স্বনক হইতে $n\lambda$ দূরত্বের মধ্যে ব্যাপ্ত থাকিবে। সুতরাং বলা যাইতে

পারে স্বনকসৃষ্ট শব্দতরঙ্গ 1 সেকেণ্ডে $n\lambda$ দূরত্ব অতিক্রম করিয়াছে। শব্দের বেগকে v দ্বারা সূচিত করিলে, আমরা পাই, $v=n\lambda$.

উদাহরণ। শব্দের বেগ 1120 ফুট প্রতিসেকেণ্ড এবং কম্পনাঙ্ক 224 হইলে শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ?

$$\text{শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য } (\lambda) = \frac{\text{শব্দের বেগ } (v)}{\text{শব্দের কম্পনাঙ্ক } (n)} = \frac{1120}{224} = 5 \text{ ফুট।}$$

শব্দের প্রতিফলন ও প্রতিধ্বনি [**Reflection of sound and Echo**]ঃ শব্দ-তরঙ্গ দেওয়াল, পাহাড়, বৃক্ষশ্রেণী প্রভৃতিতে বাধা পাইলে প্রতিফলিত হয়। আলোকের প্রতিফলনের সময় যেরূপ আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ পরস্পর সমান থাকে শব্দের প্রতিফলনের সময়ও তাহারা সেইরূপ সমান থাকে।

নিকটে পাহাড় অথবা বন থাকিলে কেহ যদি চীৎকার করে তাহা হইলে মনে হয়, তাহার কণ্ঠস্বর অনুকরণ করিয়া কে যেন তাহাকে ব্যঙ্গ করিতেছে। কোনও ধ্বনির উৎপত্তির অব্যবহিত পরেই তাহার অনুরূপ যে ধ্বনি শুনিতে পাওয়া যায় তাহাকে প্রতিধ্বনি বলে।

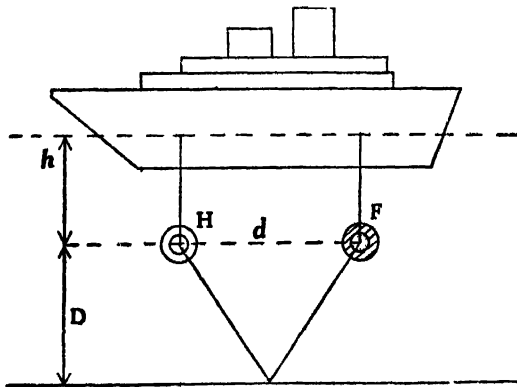
ঘরের মধ্যে আমরা যখন কথা বলি তখনও শব্দ দেওয়ালে প্রতিফলিত হয় কিন্তু এই প্রতিফলনের জন্য আমরা কোনও প্রতিধ্বনি শুনিতে পাই না। কারণ কোনও শব্দ শুনিবার পর শ্রোতার মস্তিষ্কে শব্দের অনুভূতি প্রায় $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড বর্তমান থাকে। ইহাকে **শ্রুতিরেশ** (**Persistence of audition**) বলে। প্রতিফলিত শব্দ $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ডের মধ্যে যদি শ্রোতার কর্ণে প্রবেশ করে, তাহা হইলে সে ধ্বনি ও প্রতিধ্বনির মধ্যে পার্থক্য অনুভব করিতে পারে না। সেইজন্য প্রতিধ্বনি শুনিবার জন্য স্বনক ও প্রতিফলকের দূরত্ব এইরূপ হওয়া চাই যাহাতে উৎপন্ন শব্দ প্রতিফলিত হইয়া স্বনকের নিকট পৌঁছিতে $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড কিংবা তাহার বেশী সময় লয়। শব্দের বেগ যদি 1120 ফুট প্রতি সেকেণ্ড হয় তাহা হইলে $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ডে শব্দ 112 ফুট দূরত্ব অতিক্রম করিবে। সুতরাং যদি স্বনক ও প্রতিফলকের মধ্যে দূরত্ব 56 ফুট হয় তাহা হইলে উৎপন্ন শব্দ প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় স্বনকের নিকট পৌঁছাইতে $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড লইবে। ইতিমধ্যে শ্রোতার মস্তিষ্কে শব্দের অনুভূতির বিলয় ঘটিবে। সুতরাং শ্রোতা প্রতিধ্বনিকে মূলশব্দ হইতে পৃথক গণ্য করিতে পারিবে অর্থাৎ সে প্রতিধ্বনি শুনিতে পাইবে।

আমরা জানি উষ্ণতা ও বায়ুর আর্দ্রতার জন্য শব্দের বেগের তারতম্য ঘটে, সুতরাং ইহাদের জন্য প্রতিধ্বনি শুনিবার ন্যূনতম দূরত্বের (56 ফুট) সামান্য তারতম্য ঘটে।

প্রতিধ্বনি বিষয়ে পূর্বোক্ত আলোচনা ক্ষণস্থায়ী শব্দের জন্য প্রযোজ্য। 'মানুষের উচ্চারিত শব্দের' প্রতিধ্বনি শুনিতে হইলে স্বনক ও প্রতিফলকের ন্যূনতম ব্যবধান আরও বেশী হইবে। পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে, মানুষ একটি শব্দাংশ (syllable) উচ্চারণ করিতে প্রায় $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ড সময় লয়। সুতরাং শব্দ উচ্চারিত হইবার পর যদি $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ডের মধ্যে প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসে তাহা হইলে শ্রোতার পক্ষে মূলধ্বনি ও প্রতিধ্বনির মধ্যে পার্থক্য করা সম্ভব হইবে না। সুতরাং এক-শব্দাংশবিশিষ্ট শব্দের প্রতিধ্বনি শুনিতে হইলে স্বনক ও প্রতিফলকের মধ্যের ন্যূনতম দূরত্ব পূর্বোক্ত যুক্তি অনুসারে 112 ফুট হওয়া প্রয়োজন। উচ্চারিত শব্দের শব্দাংশের সংখ্যা বেশী হইলে উক্ত ন্যূনতম দূরত্বও বৃদ্ধি পাইবে।

উদাহরণ। একটি বন্দুকের আওয়াজ নিকটস্থ পাহাড় হইতে 3 সেকেণ্ড পরে প্রতিধ্বনিত হইল। শব্দের বেগ 1120 ফুট প্রতিসেকেণ্ড হইলে পাহাড়ের দূরত্ব কত ?

নির্ণেয় দূরত্ব $= 1120 \times \frac{3}{2} = 1680$ ফুট।

প্রতিধ্বনির সাহায্যে সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয় [Echo depth sounding]ঃ প্রতিধ্বনির সাহায্যে সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয় করার জন্য

৬নং চিত্র : সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয়

জাহাজের এক প্রান্তে জলের নীচে F অবস্থানে একটি বিস্ফোরণ ঘটানো হয় এবং জাহাজের অপর প্রান্তে H অবস্থানে হাইড্রোফোন নামক একটি শব্দগ্রাহী যন্ত্র

জলের নীচে বিস্ফোরণের সমগভীরতায় রাখা হয়। বিস্ফোরণের শব্দ এই যন্ত্রে দুইবার শুনিতে পাওয়া যায়। প্রথম শব্দটি বিস্ফোরণ স্থল হইতে সোজাসুজি শব্দগ্রাহী যন্ত্রে যায়, দ্বিতীয়টি সমুদ্রতল হইতে প্রতিফলিত হইয়া হাইড্রোফোনে পৌঁছায়। বিস্ফোরণ (explosion) ঘটানোর পর শ্রুত শব্দদ্বয়ের মধ্যে সময়ের ব্যবধান ক্রোনোমিটার (chronometer) দ্বারা মাপা হয়। বিস্ফোরণের উৎস ও হাইড্রোফোনের সোজাসুজি দূরত্ব (d) এবং জলের নীচে তাহাদের অবস্থানের গভীরতা (h) জানা থাকিলে উক্ত সময় দুইটির সাহায্যে জলে শব্দের বেগ ও সমুদ্রের গভীরতা ($D+h$) উভয়ই জানা যাইবে। বিস্ফোরণ ঘটানোর t_1 ও t_2 সময় পর যদি শব্দ দুইটি শুনিতে পাওয়া যায় তাহা হইলে জলে শব্দের বেগ $V=\dfrac{d}{t_1}$ ....(1)

সমুদ্রতলে শব্দের আপতন বিন্দু O হইতে হাইড্রোফোন (Hydrophone) পর্যন্ত দূরত্ব $=OH=OF$.

কিন্তু $OH+OF=Vt_2$

অর্থাৎ $2OH=Vt_2$ $\therefore$ $OH=\dfrac{Vt_2}{2}$......(2)

পীথাগোরাসের উপপাদ্য অনুসারে, $D^2=OH^2-\left(\dfrac{d}{2}\right)^2$

সুতরাং, সমুদ্রের গভীরতা $=D+h=\sqrt{OH^2-\dfrac{d^2}{4}}+h$···(3)

প্রথম সমীকরণ হইতে লব্ধ জলে শব্দের বেগ দ্বিতীয় সমীকরণে বসাইলে OH দূরত্ব পাওয়া যাইবে এবং এই দূরত্বের পরিমাণ তৃতীয় সমীকরণে বসাইলে সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয় করা যাইবে।

সারাংশ

শব্দের উৎপত্তি ঃ স্বনকের কম্পন দ্বারা শব্দ উৎপন্ন হয়।

সুর-শলাকার কম্পন ঃ কম্পন করিবার সময় সুর-শলাকার দুই বাহু একসঙ্গে একবার ভিতরের দিকে এবং পরক্ষণেই একসঙ্গে বাহিরের দিকে যায়।

শব্দের বিস্তার ঃ শব্দের বিস্তারের জন্য বাস্তব মাধ্যমের প্রয়োজন। শব্দের বিস্তারের মাধ্যমের স্থানান্তর হয় না।

কম্পন ও তরঙ্গ: কম্পন দুই প্রকার: (1) অনুদৈর্ঘ্য কম্পন, (2) তির্যক কম্পন। তরঙ্গ দুই প্রকার: (1) অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ, (2) তির্যক-তরঙ্গ।

শব্দ-তরঙ্গ: শব্দ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের সমধর্মী। বায়ুতে শব্দ বিস্তারের সময় বায়ুস্তরের সঙ্কোচন ও প্রসারণ ঘটে এবং এই সঙ্কোচন ও প্রসারণ মাধ্যমের বিভিন্ন অংশে ছড়াইয়া পড়ে।

প্রতিধ্বনি: শব্দের প্রতিফলনের জন্য প্রতিধ্বনি সৃষ্টি হয়। প্রতিধ্বনির সাহায্যে সমুদ্রের গভীরতা মাপা যায়।

অনুশীলনী

1. *Describe experiments to show that sound is produced by vibration of material bodies and a material medium is necessary for propagation of sound.*

2. *Define: Periodic motion, simple harmonic motion, time period, frequency, longitudinal vibration, transverse vibration, longitudinal wave and transverse wave.*

3. *Explain the mechanism of propagation of sound through air.*

4. *Describe an experiment to determine the velocity of sound in open air.*

5. *What are echoes? How the depth of a sea may be determined with the help of echoes?*

দ্বিতীয় অধ্যায়

শব্দের বৈশিষ্ট্য
[Characteristics of musical sounds]

সুরসমৃদ্ধ শব্দ ও সুরবর্জিত শব্দ
[Musical sound and noise]

কোন কোন শব্দ শুনিতে ভাল লাগে আবার কোন কোন শব্দ শুনিতে খারাপ লাগে। যে সকল শব্দ শ্রুতিমধুর তাহাদিগকে সুরসমৃদ্ধ শব্দ এবং যাহারা শ্রুতিকটু তাহাদিগকে সুরবর্জিত শব্দ বলে। বলা বাহুল্য, সুরসমৃদ্ধ ও সুরবর্জিত শব্দের মধ্যে সীমারেখা টানা সম্ভব নয়। কেননা, যে শব্দ একজনের কাছে শ্রুতিমধুর অন্যের কাছে তাহা শ্রুতিকটু হইতে পারে। সাধারণত বেশীর ভাগ লোকের কাছে যাহা শ্রুতিমধুর তাহাকে সুরসমৃদ্ধ এবং যাহা শ্রুতিকটু তাহাকে সুরবর্জিত শব্দ বলা হয়।

সুরসমৃদ্ধ শব্দের বৈশিষ্ট্য

সুরসমৃদ্ধ শব্দের নিম্নলিখিত তিনটি বৈশিষ্ট্য আছে—(1) প্রবলতা (Loudness), (2) তীক্ষ্ণতা (Pitch), (3) বিশিষ্টতা (Quality)।

(1) **প্রবলতা :** একটি শব্দকে অপর একটি শব্দ অপেক্ষা কোনও নির্দিষ্ট দূরত্বে স্পষ্টতর শুনিতে পাওয়া গেলে প্রথম শব্দটিকে দ্বিতীয়টি অপেক্ষা প্রবল বলা হইয়া থাকে। যে শব্দ-তরঙ্গ যতবেশী শক্তি বহন করিয়া আনে এবং শ্রোতার কানের পর্দার কম্পনের বিস্তার যত বৃদ্ধি করিতে পারে তাহাকে তত প্রবল বলা হয়।

শব্দবাহী মাধ্যমের কোনও বিন্দুর চতুষ্পার্শ্বের একক বর্গক্ষেত্রের মধ্য দিয়া প্রতিসেকেণ্ডে যে পরিমাণ শক্তি শব্দতরঙ্গ দ্বারা সঞ্চালিত হয় তাহাকে শব্দের তীব্রতা (Intensity) বলে। শব্দের তীব্রতা নিম্নলিখিত বিষয়ের উপর নির্ভর করে: (ক) স্বনকের কম্পনের বিস্তার, (খ) স্বনকের দূরত্ব, (গ) স্বনকের আকার ও আয়তন, (ঘ) শব্দবাহী মাধ্যমের ঘনাঙ্ক, (ঙ) অনুনাদী বস্তুর নিকট অবস্থিতি।

(2) **তীক্ষ্ণতা :** কোন শব্দের সুর চড়া হইলে তাহার তীক্ষ্ণতা বেশী এবং খাদে থাকিলে তাহার তীক্ষ্ণতা কম বলা হয়। মশার আওয়াজের তীক্ষ্ণতা বেশী

কিন্তু কুকুরের ডাকের তীক্ষ্ণতা কম। শব্দের তীক্ষ্ণতা স্বনকের কম্পনাঙ্কের (frequency) উপর নির্ভর করে। যে শব্দের কম্পনাঙ্ক বেশী তাহার তীক্ষ্ণতাও বেশী।

(3) **বিশিষ্টতা :** দুইটি বিভিন্ন বাদ্যযন্ত্র হইতে সমপ্রবল ও সমতীক্ষ্ণ স্বর নির্গত হইলেও শ্রোতা শব্দের যে ধর্মের জন্য শব্দ দুইটিকে বিভিন্ন যন্ত্রজাত বলিয়া গণ্য করিতে পারেন তাহাকে শব্দের বিশিষ্টতা বলা হয়। শব্দের বিশিষ্টতা শব্দ-তরঙ্গের রেখাচিত্রের আকৃতির উপর নির্ভর করে। পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে কোনও বাদ্যযন্ত্রের নিঃসৃত শব্দে একটি মাত্র কম্পনাঙ্ক থাকে না, বিভিন্ন কম্পনাঙ্ক থাকে। এই বিভিন্ন কম্পনাঙ্কের শব্দ-তরঙ্গ একত্রিত হইয়া শব্দ-তরঙ্গের রেখাচিত্রের পরিবর্তন ঘটায় ও শব্দের বাদ্যযন্ত্রগত বিশিষ্টতা আনে। যে শব্দে বিভিন্ন কম্পনাঙ্ক বর্তমান থাকে তাহাকে **স্বর** (Note) এবং যে শব্দে একটিমাত্র কম্পনাঙ্ক বর্তমান থাকে তাহাকে **সুর** (tone) বলা হয়। সুতরাং স্বর বিভিন্ন সুর লইয়া গঠিত বলা যাইতে পারে। একমাত্র সুরশলাকার (tuning fork) শব্দে একটি মাত্র* কম্পনাঙ্কের শব্দতরঙ্গের সৃষ্টি হয় এবং ইহা ছাড়া অন্য যে কোনও স্বনকে একের অধিক কম্পনাঙ্কবিশিষ্ট তরঙ্গ পাওয়া যায়।

স্বরের বিভিন্ন সুরের মধ্যে যাহার কম্পন সংখ্যা সর্বনিম্ন তাহাকে **মূলসুর** (fundamental) এবং অন্যান্যগুলিকে **উপসুর** (overtones) বলে। এই উপসুরগুলির মধ্যে যাহাদের কম্পনাঙ্ক মূল সুরের গুণিতক তাহাদিগকে **সমমেল** (harmonic) বলে। কম্পনাঙ্ক মূল সুরের দ্বিগুণ হইলে তাহাকে দ্বিতীয় সমমেল বা **অষ্টক** (Second harmonic or octave), তিনগুণ হইলে তৃতীয় সমমেল (third harmonic)—এইরূপ বলা হইয়া থাকে।

স্বাভাবিক কম্পন (Free vibration), পরবশ কম্পন (Forced vibration) ও অনুনাদ (Resonance) :

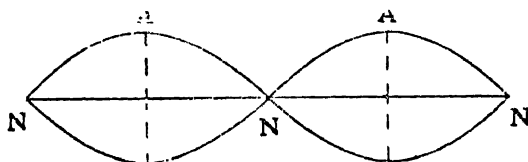
কোনও বস্তুকে কম্পন করিতে দিলে উহা একটি নির্দিষ্ট কম্পনাঙ্কে সর্বদাই কম্পন করে। এই কম্পনকে বস্তুর **স্বাভাবিক কম্পন** বলে। পরীক্ষার দ্বারা দেখা গিয়াছে, কোন বস্তু কম্পন করিতে থাকিলে উহার সহিত বাস্তব মাধ্যম সংলগ্ন অন্যান্য বস্তু কম্পন করিতে থাকে। এই সমস্ত বস্তু কম্পন

*বাস্তবিক পক্ষে সুরশলাকার কম্পনের সঙ্গে তাহার কম্পনাঙ্কের ছয়গুণ কম্পনাঙ্কবিশিষ্ট শব্দ মিশ্রিত থাকে কিন্তু এই ছয়গুণ কম্পনাঙ্কবিশিষ্ট শব্দ মুহূর্তকাল স্থায়ী হয়। সুতরাং সুরশলাকার নিঃসৃত শব্দকে মাত্র একটি কম্পনাঙ্কের শব্দ বলা হইয়া থাকে।

করিবার সময় স্বাভাবিক কম্পনাঙ্ক অনুসারে কম্পন না করিয়া প্রথম বস্তুর কম্পনাঙ্ক অনুসারে কম্পন করিয়া থাকে। বিভিন্ন বস্তুর এই কম্পনকে **পরবশ কম্পন** বলে। পরবশ কম্পন সাধারণত বেশীক্ষণ স্থায়ী হয় না এবং পরবশ কম্পনের বিস্তারও (amplitude) কম। কিন্তু যদি পরবশ কম্পনশীল কোনও বস্তুর স্বাভাবিক কম্পনাঙ্ক পরবশ কম্পন সৃষ্টিকারী বস্তুর কম্পনাঙ্কের সমান হয় তাহা হইলে পরবশ কম্পন অধিকক্ষণ স্থায়ী হয় এবং তাহার বিস্তারও বেশী হয়। এই ধরনের পরবশ কম্পনকে **অনুনাদ** বলে।

সচল তরঙ্গ (Progressive wave) ও স্থাণু-তরঙ্গ (Stationary wave) :

মাধ্যমের মধ্যে তরঙ্গ সৃষ্টি হইলে তাহা মাধ্যমের বিভিন্ন দিকে নির্দিষ্ট গতিতে সঞ্চালিত হয়। এই প্রকার তরঙ্গকে **সচল তরঙ্গ** বলে। মাধ্যমের কোন অংশে ঠিক এক রকম দুইটি বিপরীতমুখী সচল তরঙ্গ প্রবাহিত হইলে সেই অংশে তরঙ্গ আর সচল থাকে না। মাধ্যমের কণাগুলি সেই স্থানে কোনও কোনও মুহূর্তে তরঙ্গাকারে সজ্জিত হয় বটে কিন্তু পরমুহূর্তেই সেই অবস্থার বিলোপ ঘটে। ফলে তরঙ্গ প্রবাহিত হয় না, সেই স্থানেই আবদ্ধ থাকে। এই প্রকার তরঙ্গকে **স্থাণু-তরঙ্গ** বলে।

দেখা গিয়াছে, স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হইলে কোনও কোনও বিন্দুতে মাধ্যমের কণাগুলির কোনও কম্পন হয় না। এই সমস্ত বিন্দুকে **নিঃস্পন্দ বিন্দু** **(node)** বলে। আবার কোনও কোনও বিন্দুতে মাধ্যমের কণাগুলির

৭নং চিত্র : সুস্পন্দ ও নিঃস্পন্দ বিন্দু

কম্পনের বিস্তার (amplitude) চরম (maximum) ও অবম (minimum) হয়। এই সমস্ত বিন্দুকে **সুস্পন্দ বিন্দু** বলে। ৭নং চিত্রে antinode স্থাণু-তরঙ্গের সুস্পন্দ বিন্দুকে A দ্বারা ও নিঃস্পন্দ বিন্দুকে N দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়াছে। লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, কোনও **সুস্পন্দ বিন্দু হইতে পরবর্তী নিঃস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব শব্দতরঙ্গ দৈর্ঘ্যের এক-চতুর্থাংশ** $\frac{\lambda}{4}$

তারের তির্যক কম্পন [Transverse Vibration of strings] কোনও তারের দুই প্রান্ত টান করিয়া বাঁধিয়া উহাকে একটু টানিয়া ছাড়িয়া দিলে তারে তির্যক কম্পনের সৃষ্টি হয়। এই তির্যক কম্পনের ফলে সৃষ্ট তরঙ্গ তারের বদ্ধপ্রান্তে প্রতিফলিত হয়। মূল তরঙ্গ ও প্রতিফলিত তরঙ্গ উভয়ে মিলিয়া স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি করে। এই স্থাণু-তরঙ্গের প্রভাবেই তারের কম্পন স্থায়ী হয়। পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে, তারের তির্যক কম্পনের কম্পনাঙ্ক (n), তারের দৈর্ঘ্য (l), তারের উপর প্রযুক্ত টান (T) ও তারের একক দৈর্ঘ্যের ভরের উপর নির্ভর করে।

তারের তির্যক কম্পনের সূত্র (Laws of transverse vibration of strings) :

1. **দৈর্ঘ্যের সূত্র** (Law of length) : নির্দিষ্ট টান সমন্বিত ও একক দৈর্ঘ্যের নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট তারের তির্যক কম্পনের ফলে নিঃসৃত শব্দের কম্পনাঙ্ক তাহার দৈর্ঘ্যের ব্যস্ত সমানুপাতী। $n \propto \frac{1}{l}$ (যখন T ও m নির্দিষ্ট)

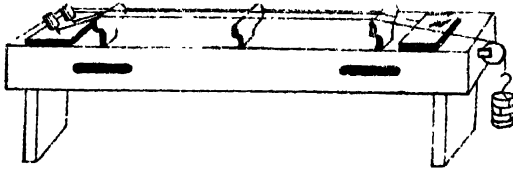
2. **টানের সূত্র** (Law of tension) : একক দৈর্ঘ্যের নির্দিষ্ট ভর-বিশিষ্ট ও নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের তারের তির্যক কম্পন-নিঃসৃত শব্দের কম্পনাঙ্ক তারের উপর প্রযুক্ত টানের বর্গমূলের সমানুপাতী। $n \propto \sqrt{T}$ (যখন m ও l নির্দিষ্ট)।

3. **ভরের সূত্র** (Law of mass) : নির্দিষ্ট টান সমন্বিত ও নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের তারের তির্যক কম্পন-নিঃসৃত শব্দের কম্পনাঙ্ক তারের একক দৈর্ঘ্যের ভরের বর্গমূলের ব্যস্ত সমানুপাতী। $n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$ (যখন T ও l নির্দিষ্ট)

পূর্বোক্ত সূত্রগুলিকে একত্রে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয় :

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

স্বনমিটার (Sonometer) : টান করিয়া বাঁধা তারের তির্যক কম্পনের সূত্রগুলি পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। এই যন্ত্রটিতে প্রায় একমিটার দীর্ঘ কাঠের একটি ফাঁপা বাক্সের উপরে একটি **সরু তারের** একদিক একটি হুকে বাঁধা আছে। অপর দিকটি একটি মসৃণ কপিকলের উপর দিয়া গিয়া একটি পাল্লার সহিত সংযুক্ত আছে। এই পাল্লার উপর ওজন চাপাইয়া তারের উপর প্রযুক্ত টানের (tension)

হ্রাসবৃদ্ধি করা যায়। কম্পমান তারের দৈর্ঘ্যের হ্রাসবৃদ্ধি করার জন্য তারের ঠিক নীচে দুইটি ধাতব ফলক বসানো থাকে। ফলক দুইটির ব্যবধান

৮নং চিত্র : স্বনমিটার

হ্রাসবৃদ্ধি করিয়া কম্পমান তারের দৈর্ঘ্যের হ্রাসবৃদ্ধি করা যায়। অনেক সময় এই যন্ত্রে পরীক্ষার সুবিধার জন্য দুইটি তার থাকে। দ্বিতীয় তারটিকে সাহায্যকারী তার বলা হয়।

পাল্লায় ওজন বসাইয়া তারে তির্যক কম্পনের সৃষ্টি করিলে তারটি একটি নির্দিষ্ট কম্পনাঙ্কে কাঁপিতে থাকে। তারটি কাঠের বাক্সের উপর থাকার জন্য তাহার কম্পনের ফলে বাক্সের ভিতরের বায়ুতে পরবশ কম্পনের সৃষ্টি হয় এবং তাহার ফলে তারের কম্পনের আওয়াজ জোর হয়।

তারের তির্যক কম্পনের দৈর্ঘ্য-সূত্রের পরীক্ষা: স্বনমিটারের পাল্লায় নির্দিষ্ট ওজন চাপাইয়া তারটিকে একটি নির্দিষ্ট টানে রাখা হইল। কয়েকটি জানা কম্পনাঙ্কের সুরশলাকা লওয়া হইল। তাহাদের যে কোন একটিকে বাজাইয়া তাহার সুর ও তারের তির্যক কম্পনের ফলে নিঃসৃত সুর সমান করা হইল। তারের দৈর্ঘ্যের হ্রাসবৃদ্ধি করিয়া তারের তির্যক কম্পনের সুর ও সুরশলাকার সুর সমান করা হইয়া থাকে। তারের নিঃসৃত শব্দ ও সুরশলাকার শব্দ সমসুর (unison) হইলে তারের কম্পনাঙ্ক ও সুরশলাকার কম্পনাঙ্ক একই হইবে। বিভিন্ন সুরশলাকা লইয়া এই পরীক্ষা করা হয়। যদি n_1, n_2, প্রভৃতি কম্পনাঙ্কের সুরশলাকার শব্দ স্বনমিটারের l_1, l_2, প্রভৃতি দৈর্ঘ্যের তারের শব্দের সহিত সমসুর হয়, তাহা হইলে দেখা যাইবে—

$$n_1 l_1 = n_2 l_2 = \cdots\cdots = \text{একটি ধ্রুবক}$$

সুতরাং বলা যাইতে পারে $n \propto \frac{1}{l}$; পরীক্ষালব্ধ এই ফল স্বনমিটারের দৈর্ঘ্য-সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করিতেছে।

এইরূপে স্বনমিটারের সাহায্যে তারের তির্যক কম্পনের অন্যান্য সূত্রও প্রমাণ করা যায়।

স্বনমিটারের সাহায্যে স্বরশলাকার কম্পনাঙ্ক নির্ণয় : স্বনমিটার যন্ত্রের পাল্লায় নির্দিষ্ট ওজন চাপাইয়া তারে টান দেওয়া হইল। যে স্বরশলাকাটির কম্পনাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে তাহাকে কম্পনশীল অবস্থায় স্বনমিটারের কাঠের বাক্সের উপর বসান হইল। ইহার ফলে স্বরশলাকা-নিঃসৃত শব্দ প্রবল হইবে। এইবার স্বনমিটারের তারে তির্যক কম্পনের সৃষ্টি করা হইল। কম্পনশীল তারের দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন দ্বারা তারের নিঃসৃত শব্দ ও স্বরশলাকার শব্দ সমস্বর করা হইল। এই অবস্থায় তারের কম্পনাঙ্ক ও স্বরশলাকার কম্পনাঙ্ক একই হইবে। স্বনমিটারের তারে নমুনা অংশ লইয়া তাহার ভর ও দৈর্ঘ্য মাপিয়া একক দৈর্ঘ্যের ভর নির্ণয় করা হইল। যেহেতু পরীক্ষার দ্বারা l, T ও m জানা আছে, সুতরাং পূর্বের সমীকরণ $\left(n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}\right)$ হইতে তারের কম্পনাঙ্ক অর্থাৎ স্বর শলাকার কম্পনাঙ্ক জানা যাইবে।

উদাহরণ। কোনও স্বনমিটার তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর ·0981 গ্রাম প্রতি সে. মি.। 50 সে. মি. দৈর্ঘ্যের এই তারে 10 কিলোগ্রাম ওজন দিয়া টান দিবার পর তারটিতে তির্যক কম্পন সৃষ্টি করিলে নিঃসৃত শব্দের কম্পনাঙ্ক কত হইবে ?

আমরা জানি $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$

n = কম্পনাঙ্ক = ? l = তারের দৈর্ঘ্য = 50 সে. মি,

T = টান $\times 10 \times 1000 \times 981$ ডাইন

m = একক দৈর্ঘ্যের ভর = ·0981 গ্রাম প্রতি সে. মি.

$$\therefore \quad n = \frac{1}{2 \cdot 50}\sqrt{\frac{10 \times 1000 \times 9 \cdot 1}{\cdot 0981}} = 100 \text{ প্রতি সেকেণ্ড}$$

একমুখ খোলা নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পন (Vibration of air column in a pipe closed at one end) :

একমুখ খোলা অপর মুখ বন্ধ একটি নলের বায়ুস্তম্ভে ফুঁ দিয়া কিংবা স্বরশলাকার দ্বারা কম্পন সৃষ্টি করিলে বায়ু মাধ্যমে যে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের সৃষ্টি হয়, তাহা নলের বন্ধমুখ হইতে প্রতিফলিত হয়। মূল তরঙ্গ ও প্রতিফলিত তরঙ্গ উভয়ে মিলিয়া বায়ুস্তম্ভের কয়েকটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যে স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি করে। বায়ুস্তম্ভের যে নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যে স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হয় সেই দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট বায়ুস্তম্ভের স্বাভাবিক কম্পনাঙ্ক স্বরশলাকার (বা অন্য কোন স্বনকের) কম্পনাঙ্কের

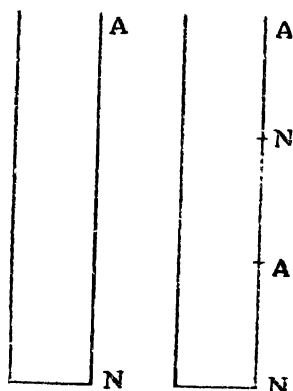
সহিত সমান অথবা তাহার গুণিতক হয়। ইহার ফলে অনুনাদের সৃষ্টি হয় এবং বায়ুস্তম্ভের কম্পনের শব্দ জোরে শুনিতে পাওয়া যায়।

নলের মধ্যে বায়ুস্তম্ভের স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হইলে বায়ুমাধ্যমে সুস্পন্দ ও নিঃস্পন্দ বিন্দুর উৎপত্তি ঘটে। নলের একমুখ বন্ধ হওয়ার জন্য সেইদিকে সর্বদাই নিঃস্পন্দ বিন্দু ও অপর মুখে স্বনক থাকার জন্য সুস্পন্দ বিন্দু হইবে।

স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হওয়ার ফলে যদি বায়ুস্তম্ভের মধ্যে একটিমাত্র সুস্পন্দ বিন্দু ও একটি মাত্র নিঃস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হয়, তাহা হইলে বায়ুস্তম্ভের কম্পনের ফলে নিঃসৃত শব্দকে মূলস্বর (fundamental) বলে। বায়ুস্তম্ভ হইতে মূলস্বর নির্গত হইলে রুদ্ধমুখে একটি নিঃস্পন্দ বিন্দু (N) ও খোলামুখে একটি সুস্পন্দ বিন্দু (A) হইবে। শব্দতরঙ্গের দৈর্ঘ্যকে λ দ্বারা সূচিত করিলে আমরা পাই

নলের দৈর্ঘ্য $= l = AN = \frac{\lambda}{4}$ অর্থাৎ $\lambda = 4l$.

যদি শব্দতরঙ্গের বেগ V হয় এবং শব্দের কম্পনাঙ্ক n হয় তাহা হইলে,

$$n = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{4l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

৯নং চিত্র : বামে একটি নিঃস্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দুর এবং ডান দিকে দুইটি নিঃস্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি

স্বনক বেশী জোরে কম্পন করিলে অথবা নলের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করিলে বায়ুস্তম্ভের কম্পনে উপস্বরের উৎপত্তি হয়। এই উপস্বর সমমেল হইলে শব্দ জোরে শুনিতে পাওয়া যায়। মনে করা যাক, বায়ুস্তম্ভের কম্পনে দ্বিতীয় উপস্বরের সৃষ্টি হইয়াছে। সুতরাং রুদ্ধমুখে একটি নিঃস্পন্দ বিন্দু এবং খোলামুখে একটি সুস্পন্দ বিন্দু ছাড়া আর একটি করিয়া নিঃস্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হইবে। সুতরাং এক্ষেত্রে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য $= l = 3AN = \frac{3\lambda}{4}$ সুতরাং $n = \frac{v}{\lambda} = \frac{3v}{4l}$ অতএব দেখা যাইতেছে, দ্বিতীয় উপস্বরের কম্পনাঙ্ক মূলস্বরের তৃতীয় সমমেল।

অনুরূপ আলোচনার দ্বারা প্রমাণ করা যায়, একমুখ খোলা ও অপর মুখ বন্ধ নলের মধ্যস্থিত বায়ুস্তম্ভের কম্পনে মূলস্বরের পঞ্চম, সপ্তম প্রভৃতি সমমেলও উৎপন্ন হয় অর্থাৎ বিযুগ্ম সমমেলের সৃষ্টি হয়।

দুইমুখ খোলা নলের বায়ুস্তম্ভের কম্পন (Vibration of air Column in a pipe open at both ends) :

দুইমুখ খোলা নলের বায়ুস্তম্ভে ফুঁ দিয়া বা সুরশলাকার দ্বারা কম্পন সৃষ্টি করিয়া শব্দ তরঙ্গ উৎপন্ন করিলে নলের কয়েকটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যে অনুনাদ ঘটে। ইহার ফলে মূল সুর ও বিভিন্ন সমমেলের উৎপত্তি ঘটে।

বায়ুস্তম্ভের কম্পনে মূলসুর উৎপন্ন হইলে দুইমুখে দুইটি সুস্পন্দ বিন্দু ও মধ্যে একটি নিঃস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি হয়।

এক্ষেত্রে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য $= l = 2AN$ $= 2.\frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2}$

সুতরাং বায়ুস্তম্ভের মূলসুরের কম্পনাঙ্ক $n = \frac{v}{2l} \ldots (1)$

নলের বায়ুস্তম্ভ দ্বিতীয় উপসুরে কম্পন করিতে থাকিলে ইহার মধ্যে আরও একটি নিঃস্পন্দ ও একটি সুস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হইবে।

১০নং চিত্র ও ১১নং চিত্র : দুই মুখ খোলা নলের বায়ুস্তম্ভের কম্পন

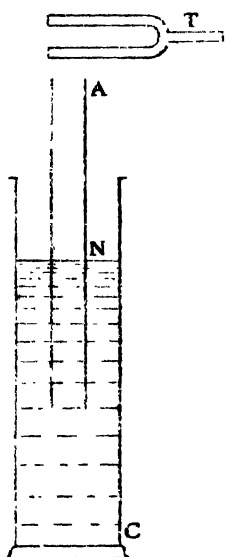
এক্ষেত্রে নলের দৈর্ঘ্য $= l = 4.\frac{\lambda}{4} = \lambda.$

সুতরাং বায়ুস্তম্ভের দ্বিতীয় উপসুরের কম্পনাঙ্ক $n = \frac{v}{\lambda}$ $= 2.\frac{v}{2l}$ অর্থাৎ দ্বিতীয় উপসুর মূলসুরের দ্বিতীয় সমমেল হইবে।

অনুরূপ আলোচনা দ্বারা প্রমাণ করা যায়, দুইমুখ খোলা নলের মধ্যস্থিত বায়ুস্তম্ভের কম্পনের জন্য মূলসুরের তৃতীয়, চতুর্থ প্রভৃতি সমমেলও উৎপন্ন হয় অর্থাৎ যুগ্ম ও বিযুগ্ম উভয় সমমেলের সৃষ্টি হয়।

বায়ুস্তম্ভের অনুনাদী কম্পন দ্বারা শব্দের বেগ নির্ণয় (Velocity of sound by resonance air column) :

একটি লম্বা কাঁচের সিলিণ্ডারের প্রায় দুই-তৃতীয়াংশ জলে পূর্ণ করা হইল। একটি দুইমুখ খোলা কাঁচের নলের একদিক জলের মধ্যে ডুবাইয়া নলটিকে উর্ধ্বাধভাবে রাখা হইল। এই অবস্থায় নলটি একমুখ খোলা অপর

মুখ বন্ধ নলের মতো কাজ করিবে। এখন একটি স্বরশলাকাকে কম্পনশীল অবস্থায় নলের খোলা মুখের ঠিক উপরে রাখিয়া বায়ুস্তম্ভের অল্প দৈর্ঘ্য হইতে শুরু করিয়া নলটিকে ধীরে ধীরে জল হইতে তুলিলে নলের বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য বাড়িতে থাকিবে এবং একটি বিশিষ্ট দৈর্ঘ্যে অনুনাদ ঘটিবে। এই অবস্থায় বায়ুস্তম্ভের কম্পনজনিত শব্দের কম্পনাঙ্ক এবং স্বরশলাকার কম্পনাঙ্ক একই হইবে।

১২নং চিত্রঃ বায়ুস্তম্ভের অনুনাদী কম্পন দ্বারা শব্দের বেগ-নির্ণয়

অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য l এবং মূলস্বরের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ হইলে $l = AN = \frac{\lambda}{4}$ অর্থাৎ $\lambda = 4l$.

শব্দের বেগ V ও স্বরশলাকার কম্পনাঙ্ক n হইলে আমরা জানি $V = n\lambda$.

সুতরাং $V = n.4l = 4ln$.

পরীক্ষা দ্বারা l পাওয়া গিয়াছে এবং স্বরশলাকার কম্পনাঙ্ক জানা আছে, সুতরাং শব্দের বেগ নির্ণয় করা যাইবে।

এই পরীক্ষা দ্বারা শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এবং শব্দের বেগ জানা থাকিলে স্বরশলাকার কম্পনাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

এই পরীক্ষা দ্বারা শব্দের বেগ নির্ণয় করার জন্য বাহিরের উন্মুক্ত স্থানের প্রয়োজন হয় না, পরীক্ষাগারের মধ্যেই ইহা সম্পন্ন করা সম্ভব।

উদাহরণ। একটি স্বরশলাকার কম্পনাঙ্ক 340 প্রতি সেকেণ্ড। 25 সে. মি. দৈর্ঘ্যের একমুখ বন্ধ নলের খোলা মুখের নিকট কম্পমান স্বরশলাকাটি রাখিলে নলের বায়ুস্তম্ভে অনুনাদের সৃষ্টি হয়। বায়ুস্তম্ভ হইতে মূলস্বর নিঃসৃত হইলে শব্দতরঙ্গের দৈর্ঘ্য ও বায়ুতে শব্দের বেগ কত?

আমরা জানি, (শব্দতরঙ্গের দৈর্ঘ্য) $\lambda = 4l$; এখানে $l = 25$ সে. মি.

সুতরাং $\lambda = 4.25 = 100$ সে. মি.।

যেহেতু $V =$ শব্দের বেগ $= 4nl$

এখানে $n =$ কম্পনাঙ্ক $= 340$

$l = 25$ সে. মি.

$\therefore V = 4.\ 340.\ 25$ সে. মি. প্রতিসেকেণ্ড

$= 340$ মিটার প্রতি সেকেণ্ড।

সারাংশ

তারের তির্যক কম্পনের সূত্র : (1) নির্দিষ্ট টানসমন্বিত ও একক দৈর্ঘ্যের নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট তারের তির্যক কম্পন-নিঃসৃত শব্দের কম্পনাঙ্ক তাহার দৈর্ঘ্যের ব্যস্ত সমানুপাতী। (2) একক দৈর্ঘ্যের নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট ও নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের তারের তির্যক কম্পন-নিঃসৃত শব্দের কম্পনাঙ্ক তারের উপর প্রযুক্ত টানের বর্গমূলের সমানুপাতী। (3) নির্দিষ্ট টানসমন্বিত ও নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের তারের তির্যক কম্পন-নিঃসৃত শব্দের কম্পনাঙ্ক তারের একক দৈর্ঘ্যের ভরের ব্যস্ত সমানুপাতী।

নলের বায়ুস্তম্ভের অনুনাদ : একমুখ বন্ধ ও একমুখ খোলা নলের বায়ুস্তম্ভে অনুনাদী কম্পন সৃষ্টি করিলে মূলস্বর ও বিযুগ্ম সমমেল উৎপন্ন হয়। দুইমুখ খোলা নলের বায়ুস্তম্ভে অনুনাদী কম্পন সৃষ্টি করিলে মূলস্বর ও যুগ্ম এবং বিযুগ্ম উভয় সমমেল উৎপন্ন হয়।

একমুখ খোলা বায়ুস্তম্ভের অনুনাদী কম্পনের সাহায্যে শব্দের বেগ, তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এবং কম্পনাঙ্ক পরীক্ষাগারে নির্ণয় করা যায়।

অনুশীলনী

1. *Explain briefly what you understand by free vibration, forced vibration, resonance, progressive and stationary waves.*

2. *State the laws of transverse vibration of string. Describe an experiment to verify the law of length.*

3. *Explain the characteristics of musical sound. Describe how you would determine the frequency of a tone by a sonometer.*

4. *Discuss what harmonics along with the fundamental are present in case of resonant vibration of air column in (i) a closed pipe and (ii) an open pipe.*

5. *Describe how the velocity of sound is determined by resonant vibration of air column.*

তৃতীয় অধ্যায়

চুম্বক তত্ত্ব
[Magnetism]

প্রাকৃতিক চুম্বক (Natural magnet) : পশ্চিম এশিয়ার ম্যাগনেসিয়া নামক স্থানে প্রাচীনকালে একপ্রকার আকরিক লোহা আবিষ্কৃত হয়। ইহা লোহার একপ্রকার অক্সাইড (Fe_3O_4)। ইহার প্রধান দুইটি ধর্ম (i) আকর্ষণী ধর্ম (Attractive property) ও (ii) দিকদর্শী ধর্ম (Directive property)। অর্থাৎ ইহা লোহাকে আকর্ষণ করে এবং ঝুলাইয়া রাখিলে মোটামুটি উত্তর-দক্ষিণে বিলম্বিত থাকে। ম্যাগনেসিয়া প্রদেশে প্রথম আবিষ্কৃত হয় বলিয়া ইহাকে ম্যাগনেট (magnet) বলা হয়। এই প্রকার চুম্বককে প্রাকৃতিক চুম্বক বলা যায়।

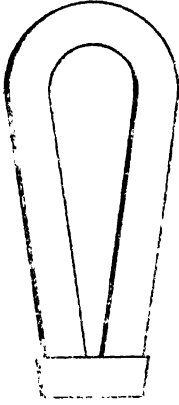
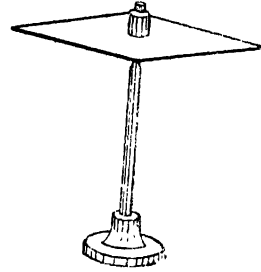
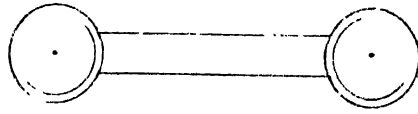
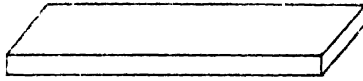
চৌম্বক ও অচৌম্বক পদার্থ (Magnetic and Non-magnetic substances) : চুম্বক কেবল লোহা বা ইস্পাতকেই আকর্ষণ করে না, নিকেল, কোবাল্ট ও কয়েক প্রকারের মিশ্রধাতুকেও (alloy) আকর্ষণ করে। এই সকল পদার্থকে চৌম্বক পদার্থ বলে। অন্য যে সমস্ত পদার্থের উপর চুম্বকের কোনও আকর্ষণ নাই তাহাদের অচৌম্বক পদার্থ বলে।

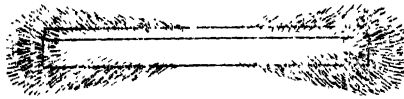
সমস্ত চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক ধর্ম সমান নহে। নরম লোহা (Soft Iron) ও ইস্পাতের চৌম্বক ধর্ম খুব প্রবল। নিকেল ও কোবাল্টের চৌম্বক ধর্ম খুব ক্ষীণ কিন্তু এল্‌নিকো (Alnico), পার্মালয় (Permalloy) প্রভৃতি মিশ্রধাতুর চৌম্বক ধর্ম খুব প্রবল।

কৃত্রিম চুম্বক (Artificial magnet) : চৌম্বক পদার্থে গঠিত কোনও বস্তুকে কৃত্রিম উপায়ে চুম্বকে রূপান্তরিত করিলে উহাকে কৃত্রিম চুম্বক বলে। ব্যবহারিক ক্ষেত্রে আমরা যে সকল চুম্বক ব্যবহার করি উহারা প্রায় সমস্তই কৃত্রিম চুম্বক।

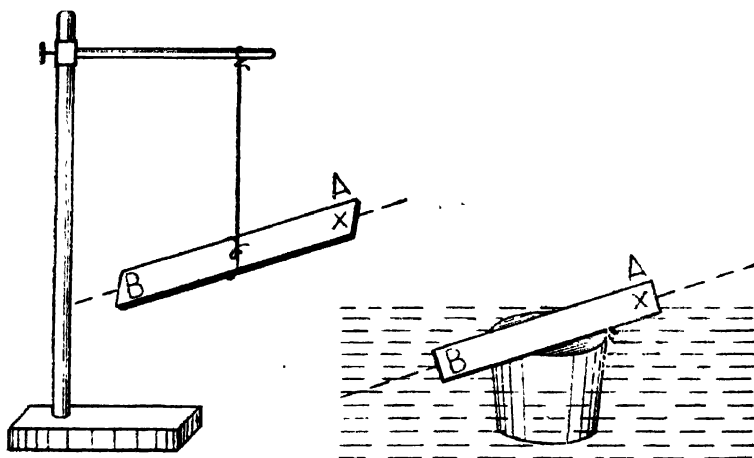
বিভিন্ন আকারের চুম্বক : কাজের সুবিধার জন্য নানা আকারের কৃত্রিম চুম্বক ব্যবহার করা হয়; যথা, চুম্বকদণ্ড (bar magnet), চুম্বক-শলাকা (magnetic needle), অশ্বক্ষুরাকৃতি চুম্বক (Horse-shoe magnet), বল প্রান্ত চুম্বক (ball-ended magnet) প্রভৃতি।

চুম্বকত্বের কয়েকটি সাধারণ প্রক্রিয়া (**Simple phenomena of magnetism**) **:**

আমরা জানি চুম্বক লোহাকে আকর্ষণ করে। কাগজের উপর কিছু

১৩নং চিত্র : বিভিন্ন আকারের চুম্বক

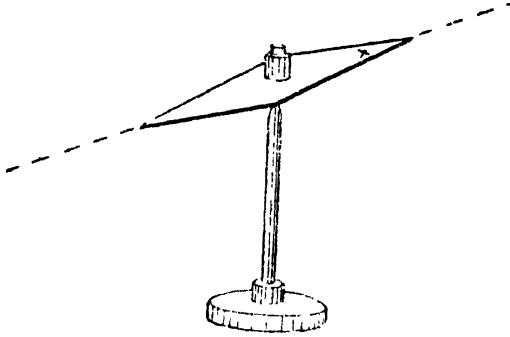
লোহাচূর ছড়াইয়া তাহার উপর একটি চুম্বককে রাখিলে চুম্বকটির গায়ে লোহাচূরগুলি লাগিয়া যাইবে। কিন্তু উহারা চুম্বকের গায়ে সর্বত্র সমানভাবে

১৪নং চিত্র : চুম্বকের লোহাচূর আকর্ষণ

লাগিবে না। দুইপ্রান্তের কাছে লোহাচূরগুলি স্তূপাকারে লাগিয়া থাকিবে এবং চুম্বকটির মধ্যবিন্দুর দিকে ক্রমশ সংলগ্ন লোহাচূরের ঘনত্ব কমিয়া আসিবে। একেবারে মধ্যবিন্দুতে প্রায় কোনও লোহাচূর থাকিবে না। **এই পরীক্ষা হইতে দেখা যায় আকর্ষণ ক্ষমতা চুম্বকের উপর সর্বত্র সমান নহে। দুইপ্রান্তের দিকে আকর্ষণ ক্ষমতা সর্বাপেক্ষা প্রবল এবং মাঝখানে কোনও আকর্ষণ ক্ষমতা নাই বলিলেই চলে।**

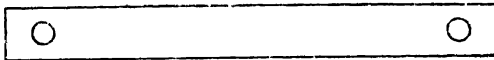
দিক-নির্দেশ করা চুম্বকের আর একটি ধর্ম। একটি চুম্বক-দণ্ডকে রেশমের পাক-শূন্য সুতার সাহায্যে এমনভাবে ঝুলাইয়া রাখা হইল যে উহার দৈর্ঘ্য যেন অনুভূমিক অবস্থায় থাকে। চুম্বক-দণ্ডটি কয়েকবার উভয়দিকে দুলিয়া একটি নির্দিষ্ট অবস্থানে স্থির হইয়া দাঁড়াইবে। স্থির অবস্থায় দণ্ডটি মোটামুটি উত্তর-দক্ষিণ দিক বরাবর থাকিবে। স্থির অবস্থায় চুম্বকটির কোনও একটি প্রান্ত (মনে করা যাক, উত্তর দিকে অবস্থিত A প্রান্ত) একটি ক্রশ চিহ্ন দ্বারা চিহ্নিত করা হইল। এখন চুম্বকটির স্থির অবস্থান হইতে সামান্য স্থানান্তরিত করিয়া ছাড়িয়া দেওয়া হইল। চুম্বকটি কয়েকবার ধীরে ধীরে স্থির অবস্থানের দুইদিকে দুলিয়া আবার ঠিক পূর্বের অবস্থানে স্থির হইয়া দাঁড়াইবে। অর্থাৎ একটি ঝুলন্ত চুম্বক সর্বদা নির্দিষ্ট দিক-নির্দেশ করিবে।

১৫নং চিত্র : চুম্বকের দিক্‌দর্শী ধর্মের পরীক্ষা

চুম্বকটিকে না ঝুলাইয়া একখণ্ড বড় কর্কের উপর রাখিয়া স্থির জলের উপর কর্কটি ভাসাইয়া দিয়াও পরীক্ষাটি করা যায়। এক্ষেত্রেও দেখা যাইবে চুম্বকটি স্থির অবস্থানের দুইদিকে কয়েকবার আন্দোলিত হইয়া ঠিক পূর্বের মতো মোটামুটি উত্তর ও দক্ষিণ দিকেই স্থির হইয়া থাকিতেছে।

পিভট বিন্দুর (Pivot point) উপর স্থাপিত চুম্বক-শলাকা (magnetic needle) দ্বারাও চুম্বকের দিক-নির্দেশ ধর্মের পরীক্ষা করা যায়। দুইপ্রান্ত সরু পাতলা এবং ছোট চুম্বক-দণ্ডকে চুম্বক-শলাকা বলে। চুম্বকটির জ্যামিতিক কেন্দ্রের নিকট একটি ছোট বাটির মতো গর্ত থাকে। ঊর্ধ্বাধভাবে অবস্থিত একটি অচৌম্বক পদার্থের পিনের প্রান্তের উপর চুম্বকটিকে এমনভাবে রাখা হয়

যাহাতে ছোট গর্তটি ঠিক পিনের উপরে থাকে। এই পিনের বিন্দুকে পিভট-বিন্দু বলে। ঠিক ভরকেন্দ্রের উপর অবস্থিত চুম্বক-শলাকাটি কয়েকবার উভয় দিকে দুলিয়া একটি নির্দিষ্ট অবস্থানে আসিয়া স্থির হয় এবং শলাকার দুই প্রান্ত সর্বদা দুইটি পরস্পর বিপরীত নির্দিষ্ট দিক নির্দেশ করে। এই দুইটি দিক মোটামুটি উত্তর-দক্ষিণ দিক হইয়া থাকে। চুম্বক-শলাকাটিকে ঘুরাইয়া দিলেও উহা কয়েকপাক ঘুরিয়া আবার পূর্বের অবস্থানে আসিয়া দাঁড়াইবে।

১৬নং চিত্র : চুম্বক ফলকের দ্বারা দিক্‌দর্শী ধর্মের পরীক্ষা

পরীক্ষাগারে ব্যবহৃত চুম্বক-শলাকার উত্তর দিক নির্দেশক প্রান্ত সাধারণত চিহ্নিত করা থাকে।

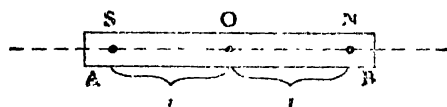
চুম্বকের মেরু (Poles of a magnet): আমরা দেখিয়াছি, চুম্বকের দুই প্রান্তের দিকে আকর্ষণ সর্বাপেক্ষা প্রবল। এইজন্য দুই প্রান্তের কাছে দুইটি সংকীর্ণ স্থান হইতে চুম্বকের আকর্ষণী শক্তি ক্রিয়া করিতেছে মনে করা হয়। এই দুইটি সংকীর্ণ স্থানকে চুম্বকের মেরু (Poles) বলে।

১৭নং চিত্র : চুম্বকের মধ্যে গোলাকার স্থান দুইটি চুম্বকের দুইটি মেরু নির্দেশ করিতেছে।

কোনও চুম্বকের দুইটি মেরুরই আকর্ষণী শক্তি আছে। কিন্তু মেরু দুইটি সর্বতোভাবে একরকম নহে। পূর্বে বর্ণিত পরীক্ষা হইতে দেখা গিয়াছে ঝুলন্ত বা ভাসমান চুম্বকের এক একটি প্রান্ত সর্বদা এক একটি দিক নির্দেশ করে এবং ঐ দুইটি দিকের একটি মোটামুটি উত্তর এবং অপরটি মোটামুটি দক্ষিণ। কোনও চুম্বকের যে প্রান্তটি সর্বদা উত্তরদিক নির্দেশ করে সেই প্রান্তের মেরুকে **উত্তর সন্ধানী মেরু** (north-seeking pole) বা কেবল **উত্তর মেরু**

(North pole) এবং উহার বিপরীত প্রান্তের মেরুকে **দক্ষিণ সন্ধানী মেরু** (South-seeking pole) বা কেবল **দক্ষিণ মেরু** (South pole) বলে।

চুম্বকের মেরু দুইটি ঠিক বিন্দু নহে, উহাদের কিছু সামান্য স্থান-ব্যাপ্তি আছে। কিন্তু বাস্তব ক্ষেত্রে উহাদের বিন্দু দ্বারাই নির্দেশ করা হয়। দ্বিতীয়ত, মেরু দুইটি চুম্বকের ঠিক শেষপ্রান্তে অবস্থিত নয়, ১৭নং চিত্রের মতো কিছু ভিতরের দিকে অবস্থিত।

চৌম্বক অক্ষ (Magnetic Axis): কোনও চুম্বকের দুই মেরুগামী সরলরেখাকে ঐ চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ বলে।

দৈর্ঘ্যের তুল্যাঙ্ক (Equivalent length): কোনও চুম্বক-দণ্ডের দুই মেরুর মধ্যবর্তী অক্ষের অংশকে উহার দৈর্ঘ্যের তুল্যাঙ্ক বলে। ১৮নং চিত্রে S ও N চুম্বকটির দুইটি মেরু। সুতরাং উভয়দিকে বর্ধিত SN রেখা উহার চৌম্বক অক্ষ এবং SN উহার দৈর্ঘ্যের তুল্যাঙ্ক। দৈর্ঘ্যের তুল্যাঙ্ককে সাধারণত $2l$ দ্বারা সূচিত করা হয়। সুতরাং O বিন্দু SN-এর মধ্যবিন্দু হইলে SO=

১৮নং চিত্র: চৌম্বক অক্ষ

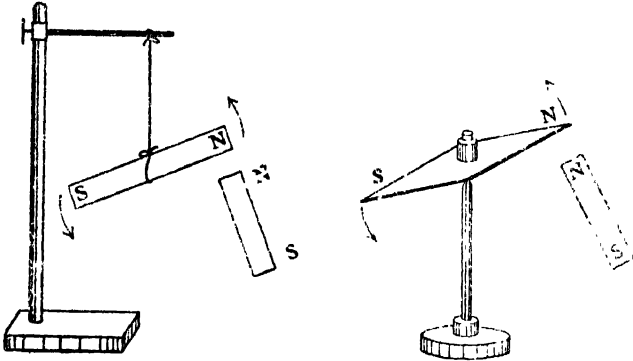
ON=l. কোনও চুম্বকের দৈর্ঘ্যের তুল্যাঙ্ক উহার জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য অপেক্ষা ছোট এবং দৈর্ঘ্যের তুল্যাঙ্ক ও জ্যামিতিক দৈর্ঘ্যের অনুপাত সমস্ত চুম্বকের ক্ষেত্রে একটি ধ্রুবক। এই অনুপাতের মান প্রায় $\frac{17}{20}$ বা 0·85.

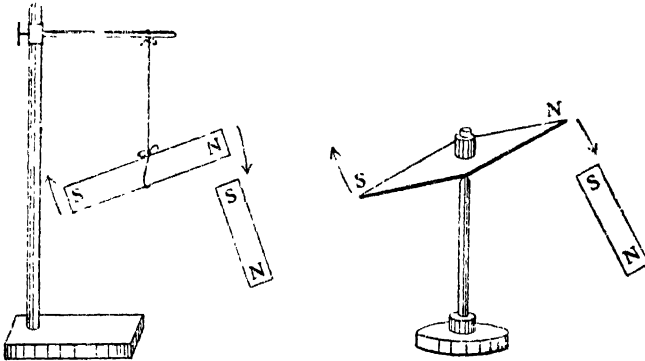
সুতরাং যদি জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য AB=$2l^1$ হয়,

তাহা হইলে এই অনুপাত

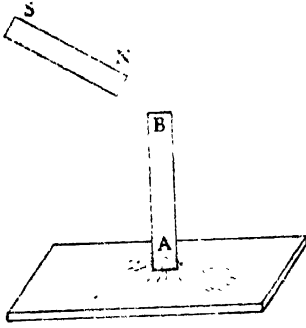
$$=\frac{SN}{AB}=\frac{2l}{2l^1}=\frac{l}{l^1}=0{\cdot}85.$$

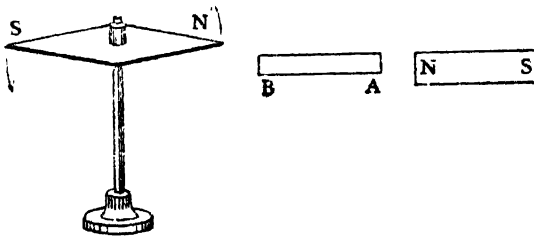
সম ও অসম মেরুর পারস্পরিক ক্রিয়া: একটি চুম্বক-শলাকার উত্তর মেরুর কাছে কোনও চুম্বক-দণ্ডের উত্তর মেরু আনিলে শলাকার উত্তর মেরু ঘুরিয়া দূরে সরিয়া যাইবে এবং দক্ষিণ মেরু কাছে আসিবে (১৮নং চিত্র দেখ)। আবার দক্ষিণ মেরুকে চুম্বক-শলাকার দক্ষিণ মেরুর কাছে আনিলে শলাকার দক্ষিণ মেরু ঘুরিয়া দূর প্রান্তে যাইবে এবং উত্তর মেরু কাছে চলিয়া আসিবে (২০নং চিত্র দেখ)। চুম্বক-দণ্ডটির কোনও প্রান্তকে চুম্বক-শলাকার

দিকে রাখিয়া দণ্ডটিকে শলাকার চারিদিকে ঘুরাইলে শলাকাটিও উহার সহিত এমনভাবে ঘুরিবে যে চুম্বক-দণ্ডের নিকটবর্তী প্রান্তে সর্বদা শলাকার বিপরীত মেরু এবং দূরবর্তী প্রান্তে সমমেরু থাকে। সুতায় ঝুলানো চুম্বক-দণ্ড লইয়াও

১৯নং চিত্র : উত্তর মেরুর কাছে উত্তর মেরু আসিলে উত্তর মেরু ঘুরিয়া যাইবে

পরীক্ষাটি করা যাইতে পারে। এই পরীক্ষা হইতে দেখা যায় **দুইটি সমমেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ এবং অসমমেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে।**

২০নং চিত্র : উত্তর মেরুর কাছে দক্ষিণ মেরু আসিবে

চৌম্বক আবেশ (Magnetic Induction): সাধারণত একটি নরম লোহার দণ্ড লোহার টুকরাকে আকর্ষণ করিবে না। মনে কর AB একটি লোহার দণ্ড। নীচে কাগজের উপরে রাখা লোহার টুকরাগুলিকে ইহা আকর্ষণ করিবে না। কিন্তু একটি শক্তিশালী চুম্বক SN-এর কোনও মেরু N-কে উপরের B প্রান্তের কাছে ধরিলে A প্রান্ত লোহার টুকরাগুলি আকর্ষণ করিবে। SN চুম্বকটি সরাইয়া লইলেই লোহার টুকরাগুলি পড়িয়া যাইবে। সুতরাং SN চুম্বকটি কাছে থাকার জন্যই AB নরম লোহার দণ্ডটি লোহাকে

আকর্ষণ করিবার ক্ষমতা অর্জন করে অর্থাৎ চুম্বকে পরিণত হয়। আবার SN চুম্বকটি সরাইয়া লইলেই উহার চুম্বকত্ব চলিয়া যায়। অর্থাৎ কোনও চুম্বকের সান্নিধ্য বা কাছাকাছি অবস্থানের জন্য একটি নরম লোহার দণ্ড চুম্বকে পরিণত হয়। নরম লোহার পরিবর্তে যে কোনও চৌম্বক পদার্থ (magnetic substance) লইয়া পরীক্ষা করিলেও কম বেশী একই ফল দেখা যাইবে। এই প্রকার **কোনও শক্তিশালী চুম্বকের সান্নিধ্য হেতু কোনও চৌম্বক বস্তুতে সাময়িক চুম্বকত্ব উৎপত্তির প্রক্রিয়াকে চৌম্বক আবেশ এবং উৎপন্ন চৌম্বকত্বকে আবিষ্ট চৌম্বকত্ব** (Induced magnetism) **বলে**। আবেশ উৎপাদনকারী চুম্বককে আবেশক চুম্বক (Induced magnet) এবং উৎপন্ন চুম্বকত্বকে আবিষ্ট চুম্বকত্ব (Induced magnetism) বলে।

২১নং চিত্র : চৌম্বক আবেশের পরীক্ষা

চৌম্বক আবেশ প্রক্রিয়াকে আরও সম্পূর্ণভাবে জানিতে হইলে অন্য একটি পরীক্ষা করা যায়। পিভট বিন্দুর উপর স্থাপিত একটি চুম্বক-শলাকা *ns* হইতে এমন দূরে একটি শক্তিশালী চুম্বক NS-কে রাখা হইল যাহাতে শলাকার উপর চুম্বকের প্রভাব কিছুই বুঝিতে না পারা যায়। অর্থাৎ SN চুম্বকটিকে নাড়াইলে শলাকাটি স্থির থাকে। এখন চুম্বক ও শলাকার মাঝখানে AB

২২নং চিত্র : চুম্বক আবেশের দ্বিতীয় পরীক্ষা

লোহার দণ্ডটিকে ধরিলে শলাকার উপর চুম্বকের প্রভাব লক্ষ্য করা যাইবে। যদি শলাকা ও চুম্বক-দণ্ড উভয়েরই উত্তর মেরু ২২নং চিত্রের মতো পরস্পরের দিকে থাকে তাহা হইলে শলাকার উত্তর মেরু ঘুরিয়া দূরে সরিয়া যাইবে শলাকার উত্তর মেরুর উপর বিকর্ষণের জন্যই এইরূপ হওয়া সম্ভব। সুতরাং

অনুমান করা যাইতে পারে AB দণ্ডটির B প্রান্তে একটি উত্তর মেরুর উৎপত্তি হইয়াছে। উহার বিপরীত প্রান্ত A বিন্দুর কাছে নিশ্চয়ই একটি দক্ষিণ মেরুরও উৎপত্তি হইয়াছে। আবার NS চুম্বক ও AB দণ্ডকে যদি এমনভাবে রাখা যায় যে NS-এর S প্রান্ত শলাকার S প্রান্তের দিকে থাকে তাহা হইলেও বিকর্ষণের জন্য S প্রান্ত সরিয়া যাইবে।

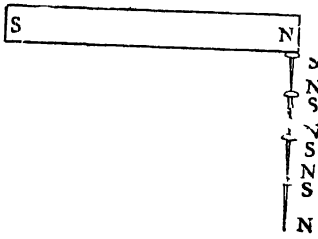
এই পরীক্ষা হইতে দেখা গেল চৌম্বক আবেশের জন্য চুম্বকটির N প্রান্তের নিকটবর্তী A প্রান্তে দক্ষিণ মেরু এবং বিপরীত দিকের B প্রান্তে উত্তর মেরুর উৎপত্তি হইল। সুতরাং **আবেশের দ্বারা কোনও আবেশক মেরুর নিকটবর্তী প্রান্তে উহার বিপরীত মেরু এবং দূরবর্তী প্রান্তে সম-মেরুর উৎপত্তি হয়।**

NS চুম্বক-দণ্ড ও চুম্বক-শলাকার দুইটি বিপরীত মেরু পরস্পরের দিকে এবং মাঝখানে AB দণ্ডটিকে রাখিয়াও পরীক্ষাটি করা যায়। এক্ষেত্রে শলাকার উপর আকর্ষণ লক্ষ্য করা যাইবে। কিন্তু চুম্বক না লইয়া কেবল লোহার দণ্ডটিকে লইয়া পরীক্ষা করিলেও আকর্ষণ লক্ষ্য করা যাইবে। সুতরাং এই পরীক্ষা হইতে চৌম্বক আবেশ সম্বন্ধে কোনও সিদ্ধান্ত করা সম্ভব নয়।

আগে আবেশ, পরে আকর্ষণ ঃ কোনও চুম্বকের চৌম্বক পদার্থকে আকর্ষণ করার কারণ এখন সহজেই বলা যাইতে পারে। চুম্বকের নিকটে চৌম্বক পদার্থ থাকিলে আবেশের জন্য ঐ চৌম্বক পদার্থের নিকটবর্তী প্রান্তে আবেশক মেরুর বিপরীত মেরুর উৎপত্তি হয়। এই পরস্পর বিপরীত আবেশক ও আবিষ্ট মেরুর মধ্যে আকর্ষণের জন্যই চুম্বক ও চৌম্বক পদার্থ পরস্পরের দিকে আকৃষ্ট হয়।

২৩নং চিত্র: আবেশক মেরুর বিপরীত মেরুর উৎপত্তি

সুতরাং বলা যায়, আগে আবেশ, পরে আকর্ষণ (Induction precedes attraction)। আবেশের দ্বারা আবিষ্ট চুম্বকের বিপরীত প্রান্তে সমমেরুরও উৎপত্তি হয় এবং উহার সহিত আবেশক মেরুর বিকর্ষণও হয়। কিন্তু আবেশক ও আবিষ্ট মেরু দুইটি দূরে থাকায় বিকর্ষণ তত প্রবল হয় না। আকর্ষণ তাহার তুলনায় প্রবলতর হওয়ায় আকর্ষণই অনুভূত হয়।

একটি চুম্বকের দ্বারা পরপর শিকলের আকারে অনেকগুলি পিনকে ঝুলাইয়া রাখা যায়। এখানে চুম্বকের দ্বারা প্রথম পিনটি আবিষ্ট হইয়া চুম্বকে পরিণত হয়। এই আবিষ্ট পিন দ্বারা আবার দ্বিতীয় পিনটি প্রথমে আবিষ্ট ও পরে আকৃষ্ট হয়। এই-ভাবে একটির পর একটি পিন আবিষ্ট চৌম্বকত্বের দ্বারা ঝুলিয়া থাকে। কিন্তু পিনগুলির আবিষ্ট চৌম্বকত্ব ক্রমশ দুর্বল হইয়া আসে এবং শেষ পর্যন্ত আর কোনও পিন ধরিয়া রাখিতে পারে না।

২৪নং চিত্র: পিনে চৌম্বক আবেশ

সনাক্তকরণ: মনে করা যাক, একই রকম দেখিতে তিনখানি দণ্ড দেওয়া হইল। উহাদের একখানি চুম্বক, একখানি চৌম্বক পদার্থে নির্মিত, কিন্তু চুম্বক নহে এবং অপর একখানি অচৌম্বক পদার্থে নির্মিত, ইহা বলিয়া দেওয়া হইয়াছে। সহজে কি উপায়ে উহাদের সনাক্ত করা যায় অর্থাৎ চেনা যায়? মনে করা যাক, তিনটি দণ্ড যথাক্রমে A, B, এবং C, উহাদের দুইটি করিয়া লইয়া পরস্পরের কাছে আনিলে দুইটির মধ্যে পরস্পর আকর্ষণ লক্ষ্য করা যাইবে। ইহারা যেন A এবং C। তৃতীয়টি অর্থাৎ B-এর সহিত কাহারও আকর্ষণ বা বিকর্ষণ কিছুই লক্ষ্য করা যাইবে না। তাহা হইলে B নিশ্চয়ই অচৌম্বক পদার্থে গঠিত এবং A ও C-এর মধ্যে একটি চুম্বক এবং অপরটি কেবল চৌম্বক পদার্থ। এখন উহাদের একে একে সূতা দ্বারা ঝুলাইয়া দিলে একটি দিকদর্শী ধর্ম দেখাইবে অর্থাৎ মোটামুটি উত্তর দক্ষিণে বিলম্বিত থাকিবে কিন্তু অপরটি যে কোনও অবস্থানে থাকিবে। মনে করা যাক, C দিকদর্শী ধর্ম দেখাইল কিন্তু A যে কোনও অবস্থানে ঝুলিয়া রহিল। তাহা হইলে C চুম্বক এবং A কেবল চৌম্বক পদার্থে গঠিত কিন্তু চুম্বক নহে। এখানে সনাক্তকরণের একটি উপায়ের কথা বলা হইল। আরও অন্য উপায়েও সনাক্তকরণ সম্ভব।

অপর পরীক্ষা:

বিকর্ষণই চুম্বকনের নির্ভরযোগ্য পরীক্ষা: কোনও চৌম্বক বস্তু চুম্বক না অচুম্বক পরীক্ষা করিতে হইলে উহাকে একটি দোলনায় (stirrup) ঝুলাইয়া একটি চুম্বকের দুইটি মেরুকে একে একে উহার কোনও এক প্রান্তের

দিকে আনা হইবে। যদি দুইটি মেরুর দ্বারাই বস্তুটির ঐ প্রান্ত আকৃষ্ট হয় তাহা হইলে উহা কেবল চৌম্বক পদার্থে গঠিত কিন্তু চুম্বক নহে। কিন্তু যদি একপ্রান্তে আকর্ষণ ও অপর প্রান্তে বিকর্ষণ হয়, তাহা হইলে বস্তুটি চুম্বক। কারণ অসম মেরুর মধ্যেও আকর্ষণ হয়, আবার চুম্বক ও চৌম্বক বস্তুর মধ্যেও আকর্ষণ হয়। কিন্তু বিকর্ষণ কেবল দুইটি সম-মেরুর মধ্যেই হয়। এইজন্য বলা হয় বিকর্ষণই চৌম্বকত্বের নির্ভরযোগ্য পরীক্ষা (Repulsion is the surer test of magnetisation)।

সারাংশ

চুম্বকের সাধারণ **ধর্ম দুইটি :** লোহা, ইস্পাত প্রভৃতি পদার্থকে আকর্ষণ করা বা **আকর্ষণী ধর্ম** এবং অনুভূমিক অবস্থায় ঝুলানো চুম্বকের মোটামুটি উত্তর-দক্ষিণে অবস্থিত হওয়া বা **দিক্-দর্শী ধর্ম** ।

চুম্বক দ্বারা যে সকল বস্তু আকৃষ্ট হয় তাহাদের **চৌম্বক পদার্থ** বলে এবং অন্যান্য পদার্থকে অচৌম্বক পদার্থ বলে। কাঁচা লোহা (soft iron), ইস্পাত, নিকেল, কোবাল্ট এবং এলনিকো (Alnico) প্রভৃতি মিশ্রধাতু চৌম্বক পদার্থ। ইহাদের মধ্যে লোহা ও এলনিকোর চৌম্বক ধর্ম খুব প্রবল ।

মেরু : চুম্বকের দুই প্রান্তের কাছে আকর্ষণী শক্তি সর্বাপেক্ষা প্রবল। দুই প্রান্তের কাছে যে দুইটি অল্পবিস্তৃত স্থান হইতে কোনও চুম্বকের চৌম্বকত্ব ক্রিয়া করে বলিয়া অনুমান করা হয়, উহাদের চুম্বকের মেরু (Poles) বলে। সুতাদ্বারা ঝুলাইলে অথবা সূচলো পিনের বা পিভট বিন্দুর (Pivot point-এর) উপর বসাইলে কোনও চুম্বকের যে প্রান্ত মোটামুটি উত্তর দিকে থাকে তাহাকে উহার **উত্তর মেরু** North Pole) এবং বিপরীত প্রান্তকে দক্ষিণ মেরু (South pole) বলে।

কোনও চুম্বকদণ্ডের দুই মেরুর মধ্যগামী সরল রেখাকে উহার **চৌম্বক-অক্ষ** (Magnetic Axis) বলে, এবং দুই মেরুর মধ্যবর্তী চৌম্বক অক্ষের দৈর্ঘ্যকে চুম্বকটির **দৈর্ঘ্যের তুল্যাঙ্ক** (Equivalent Length) বলে। প্রত্যেক চুম্বকের দৈর্ঘ্যের তুল্যাঙ্ক ও জ্যামিতিক দৈর্ঘ্যের অনুপাত একটি ধ্রুবক এবং ইহার মান প্রায় 0·85.

চুম্বকের দুইটি সমমেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ এবং অসম মেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

কোনও চুম্বকের পাশে কোনও চৌম্বক পদার্থের দণ্ড থাকিলে উহার মধ্যে সাময়িকভাবে যে চৌম্বকত্ব উৎপন্ন হয় উহাকে চৌম্বক আবেশ (Magnetic Induction) এবং এইপ্রকারে উৎপন্ন অস্থায়ী চুম্বককে আবিষ্ট চুম্বক বলে। আবেশক মেরুর নিকটবর্তী প্রান্তে অসম মেরুর এবং দূরবর্তী প্রান্তে সমমেরুর উৎপত্তি হয়। নিকটবর্তী প্রান্তে উৎপন্ন অসমমেরুর সহিত আকর্ষণের জন্যই চুম্বক ও চৌম্বক পদার্থের মধ্যে আকর্ষণের উৎপত্তি হয়। এইজন্য বলা হয় আগে আবেশ, পরে আকর্ষণ।

অনুশীলনী

1. *Describe two experiments illustrating the directive and the attractive properties of a magnet.*

2. *What are magnetic and non-magnetic substances? Give a few examples of each.*

3. *Define : Poles of a magnet, North pole, South pole, Magnetic axis, Equivalent length. The length of a bar magnet is 5 c.m. What is its equivalent length ?*

4. *Describe experiments to illustrate the action between the like poles and unlike poles of two magnets.*

5. *Explain the phenomenon of magnetic induction with suitable experiments. What kinds of poles are produced by induction ? What is meant by the statement, "Induction precedes attraction ?"*

6. *You are given three rods looking exactly alike. One of them is a magnet, another made of magnetic substance and the third made of some non-magnetic substance. How can you identify each by a simple method ?*

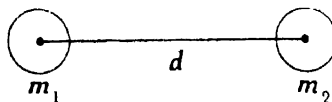
চতুর্থ অধ্যায়

চৌম্বক বলক্ষেত্র ও বলরেখা

[Magnetic Field of Force and Lines of Force]

চৌম্বক বলক্ষেত্র (Magnetic field): কোনও চুম্বকের নিকটে লৌহ বা অন্য চৌম্বক পদার্থের টুকরা রাখিলে চুম্বক উহাকে আকর্ষণ করে। চুম্বকটির প্রভাবের জন্যই উহার চারিদিকে এই আকর্ষণী ধর্ম ক্রিয়া করে। **কোনও চুম্বকের চারিদিকে যে অঞ্চলে ঐ চুম্বকের প্রভাব ক্রিয়া করে তাহাকে উহার বলক্ষেত্র বলে।** চুম্বক হইতে দূরত্ব যত বৃদ্ধি পায় উহার প্রভাবও তত দ্রুত ক্ষীণ হইয়া আসে। অতএব কিছু দূরেই চৌম্বক প্রভাব কার্যত লুপ্ত হইয়া যায় ধরা যাইতে পারে (যদিও নির্ভুলভাবে বলিতে গেলে অসীম দূরত্বের আগে উহা লুপ্ত হয় না)। সুতরাং কোনও চুম্বকের চারিদিকে কিছুদূর পর্যন্ত উহার বলক্ষেত্র বিস্তৃত থাকে মনে করা যায়। অবশ্য চুম্বকের সবলতা বা মেরুশক্তির উপর ক্ষেত্রের বিস্তৃতি নির্ভর করে। অধিক মেরুশক্তিবিশিষ্ট চুম্বকের ক্ষেত্র অপেক্ষাকৃত দুর্বল চুম্বকের ক্ষেত্র অপেক্ষা অধিক বিস্তৃত হইবে। চৌম্বক বলক্ষেত্র কোনও কোনও সময় একাধিক চুম্বকের সম্মিলিত প্রভাবেও উৎপন্ন হয়।

কুলম্বের বলসূত্র (Coulomb's Law of Force): দুইটি বিভিন্ন চুম্বকের আকর্ষণী বা বিকর্ষণী ক্ষমতা সাধারণত সমান হয় না। চুম্বকের এই আকর্ষণী ক্ষমতা উহার মেরুশক্তির উপর নির্ভর করে। মেরুশক্তি যত বেশী হইবে চুম্বকটির আকর্ষণও তত প্রবল হইবে। দুইটি মেরুর মধ্যে আকর্ষণ সম্বন্ধে কুলম্বের বলসূত্র নিম্নলিখিত রূপ :—

বায়ুতে বা শূন্যস্থানে অবস্থিত দুইটি চৌম্বক মেরুর মধ্যে

২৫নং চিত্র : কুলম্বের বলসূত্রের প্রয়োগ

আকর্ষণী বা বিকর্ষণী ক্ষমতা উহাদের মেরু-শক্তির গুণফলের সহিত সমানুপাতী এবং উহাদের দূরত্বের বর্গের সহিত ব্যস্ত-অনুপাতী।

সুতরাং m_1 ও m_2 মেরুশক্তিবিশিষ্ট দুইটি মেরু যদি পরস্পর হইতে d দূরত্বে অবস্থিত হয় এবং উহাদের মধ্যে F বল ক্রিয়া করে তাহা হইলে,

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

বা $F = K.\frac{m_1 m_2}{d^2}$, যখন K একটি ধ্রুবক। ......(i)

সি. জি. এস. একক মেরু: একক মেরুশক্তির সংজ্ঞা এমনভাবে নির্দিষ্ট করা হইয়াছে যাহাতে K=1 হয়। ধরিয়া লওয়া হয়, যখন $m_1 = m_2$, $F=1$ এবং $d=1$, তখন $m_1 = m_2 = 1$.

সুতরাং দুইটি সমান মেরু বায়ুতে এক সে. মি. দূরে অবস্থিত হইয়া পরস্পরের উপর যদি এক ডাইনের বল প্রয়োগ করে তাহা হইলে উহাদের প্রত্যেককে সি. জি. এস. একক মেরু বা একমাত্রা শক্তির মেরু বলে।

সংজ্ঞানুসারে যখন $m_1 = m_2 = 1$, $d=1$ তখন $F=1$;

∴ (i) সূত্রে এই সকল মান প্রয়োগ করিয়া $1 = K.\frac{1.1}{1^2}$, বা $K=1$.

সুতরাং একক মেরুর সংজ্ঞানুসারে কুলম্বের সূত্রকে লেখা যায়,

$$F = \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

উদাহরণ 1. 9 ও 6 সি. জি. এস. একক মেরুশক্তিবিশিষ্ট দুইটি মেরু 3 সে. মি. দূরে অবস্থিত হইলে উহাদের মধ্যে কত বল ক্রিয়া করিবে?

এখানে $m_1 = 9$ সি. জি. এস, একক
$m_2 = 6$ " " " "
$d = 3$ সে. মি.

সুতরাং $F = \frac{m_1 m_2}{d^2}$
$= \frac{9 \times 6}{3^2}$ ডাইন
$= 6$ ডাইন

উদাহরণ 2. 24 সি. জি. এস. একক মেরুশক্তিবিশিষ্ট কোনও চৌম্বক মেরু হইতে 8 সে. মি. দূরে অবস্থিত একক মেরুর উপর কত বল ক্রিয়া করিবে?

এখানে $m_1 = 24$ সি. জি. এস. একক
$m_2 = 1$ " " " "
$d = 8$ সে. মি.

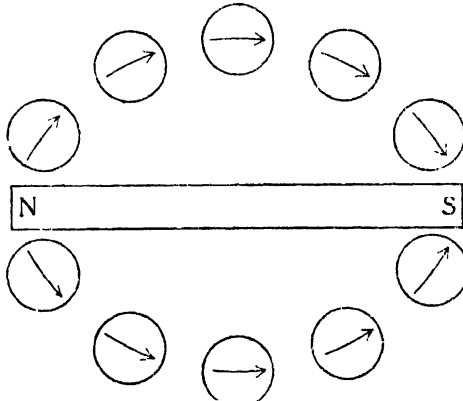
∴ $F = \frac{m_1 m_2}{d_2}$
$= \frac{24 \times 1}{8_2}$ ডাইন
$= \frac{3}{8}$ ডাইন

বলক্ষেত্রের প্রাবল্য (Intensity of Magnetic Field) : কোনও চুম্বকের প্রভাব উহার বলক্ষেত্রের সর্বত্র বিস্তৃত হয়, কিন্তু এই প্রভাব সর্বত্র সমান নহে। কোনও বিন্দুতে বলক্ষেত্রের প্রভাবের পরিমাণকে ঐ বিন্দুর বলক্ষেত্রের প্রাবল্য বলা হয়। **কোনও চৌম্বক ক্ষেত্রের বা বলক্ষেত্রের কোনও বিন্দুতে একটি একক উত্তর মেরু রাখিলে উহার উপর যে বল প্রযুক্ত হয় তাহাকে ঐ বিন্দুর বলক্ষেত্রের প্রাবল্য বলে।** প্রাবল্যের সি. জি. এস. একককে ওয়রস্টেড (Oersted) বলে। চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনও বিন্দুতে একটি সি. জি. এস. একক মেরুর উপর যদি 1 ডাইনের বল প্রযুক্ত হয়, তাহা হইলে ঐ বিন্দুর প্রাবল্য 1 ওয়রস্টেড হইবে। প্রাবল্য প্রকৃতপক্ষে একটি বল (force), সুতরাং উহার নির্দিষ্ট দিকও থাকিবে। উত্তরমেরুর উপর বল যে দিকে ক্রিয়া করে উহাই বলক্ষেত্রের প্রাবল্যের দিক।

সংজ্ঞা হইতে দেখা যাইতেছে, যদি কোনও বিন্দুর প্রাবল্য H ওয়রস্টেড হয় তাহা হইলে :

সি. জি. এস. একমাত্রার মেরুর উপব প্রযুক্ত বল $= H$ ডাইন।

∴ „ m মাত্রার „ „ „ $= mH$ „

উদাহরণ : 15 ওয়রস্টেড প্রাবল্যের একটি বিন্দুতে 10 মাত্রা সি. জি. এস. এককের একটি মেরুর উপর কত বল প্রযুক্ত হইবে ?

২৬নং চিত্র : চৌম্বক বলক্ষেত্রে কম্পাস কাঁটার দিগ্-নির্দেশ

নির্ণেয় বল $= mH = 10 \times 15$ ডাইন $=$ **150** ডাইন।

চৌম্বক বলরেখা (Magnetic Lines of Force): কোনও চৌম্বক বলক্ষেত্রের মধ্যে একটি ছোট কম্পাস কাঁটাকে রাখিলে উহার দুইটি

মেরুর উপরে পরস্পর বিপরীত দিকে প্রায় সমান বল প্রযুক্ত হয়। তাহার ফলে কম্পাস কাঁটাটি ঐ ছোট স্থানটির চৌম্বক প্রাবল্যের দিক বরাবর অবস্থিত হয়। সাদা কাগজের উপর একটি বারচুম্বককে উত্তর দক্ষিণ বরাবর রাখিয়া কম্পাস কাঁটাটিকে কাগজের উপর বিভিন্ন স্থানে রাখা হইল। কয়েকটি অবস্থানে কাঁটাটি [illegible] দিগ্‌-নির্দেশ করিবে তাহা চিত্রে দেখান হইল। চিত্রে কম্পাস কাঁটার উত্তর মেরুকে তীরচিহ্ন দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে। কম্পাস কাঁটার বিভিন্ন অবস্থান হইতে বিভিন্ন বিন্দুতে বলক্ষেত্রের প্রাবল্যের দিক সম্বন্ধে জানা যাইবে। প্রত্যেক অবস্থানে কম্পাস কাঁটার দুই প্রান্তে দুইটি বিন্দু আঁকিয়া বিন্দুগুলি বক্ররেখায় যোগ করিলে যে বক্র রেখাগুলি পাওয়া যায় উহাদের চৌম্বক বলরেখা বলে। সুতরাং **কোনও চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে যে কাল্পনিক বক্ররেখা বিভিন্ন বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করে তাহাকে চৌম্বক বলরেখা বলে।** বলরেখার যে কোনও বিন্দুতে স্পর্শক টানিলে উহা ঐ বিন্দুর চৌম্বক প্রাবল্যের দিগ্‌-নির্দেশ করে।

চুম্বকের উত্তর মেরু (বা সুমেরু) সর্বদা প্রবল্যের দিকে আকৃষ্ট হয়। সুতরাং যদি একটি ছোট বিচ্ছিন্ন সুমেরু পাওয়া সম্ভব হয়* (অর্থাৎ কোনও চুম্বকের উত্তর মেরুকে যদি উহার সহিত সংশ্লিষ্ট দক্ষিণ মেরু হইতে বিচ্ছিন্ন করা যায়) তাহা হইলে উহা চৌম্বক বলরেখা বরাবর চালিত হইবে। সুতরাং **কোন চৌম্বক বলক্ষেত্রে একটি ছোট বিচ্ছিন্ন সুমেরু যে পথ অনুসরণ করিয়া চলে তাহাকে চৌম্বক বলরেখা বলে।** ইহাকে চৌম্বক বলরেখার বিকল্প সংজ্ঞা বলা যায়।

কোনও চৌম্বক ক্ষেত্র নানাপ্রকার আকারের ও নানাপ্রকার পথ অনুসারী অসংখ্য বলরেখায় পূর্ণ থাকে বলিয়া কল্পনা করা হয়।

চৌম্বক বলরেখার ধর্ম : চৌম্বক ক্ষেত্রের নানাপ্রকার ধর্মের ব্যাখ্যা করিবার জন্য চৌম্বক বলরেখাগুলির উপর নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য আরোপ করা হয় :

(1) চৌম্বক বলরেখাগুলি উত্তর মেরু হইতে বাহির হইয়া দক্ষিণ মেরুতে চুম্বকে প্রবেশ করে এবং চুম্বকের মধ্যে দক্ষিণ মেরু হইতে উত্তর মেরু পর্যন্ত

*আমরা পরবর্তী অধ্যায়ে দেখিব কোনও মেরুকে ইহার সংশ্লিষ্ট বিপরীত মেরু হইতে বিচ্ছিন্ন করা সম্ভব নয়। সুতরাং এই ধারণা কাল্পনিক।

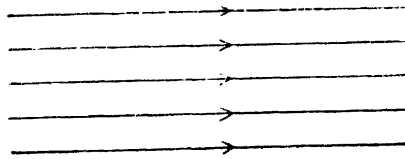
বিস্তৃত হয়। চুম্বকের মধ্যে বলরেখার অংশগুলিকে চৌম্বক আবেশ রেখা (Lines of Induction) বলা হয়।

(2) দুইটি বলরেখা কখনও ছেদ করে না। কারণ যদি তাহারা ছেদ করিত তাহা হইলে ছেদবিন্দুতে দুইটি রেখার উপর দুইটি স্পর্শক টানা যাইত এবং তাহার ফলে একই বিন্দুতে প্রাবল্যের দুইটি দিগ্-নির্দেশ করিত। কিন্তু একই বিন্দুতে প্রাবল্যের একটি দিকই থাকিবে।

(3) বলরেখাগুলি সর্বদা দৈর্ঘ্যে সঙ্কুচিত হইতে চায়।

(4) বলরেখাগুলি সর্বদা পরস্পরকে পাশের দিকে বিকর্ষণ করে।

প্রাবল্য ও বলরেখা : কোনও তলের ভিতর দিয়া কতগুলি বলরেখা যাইবে তাহা ঐ তলের বলক্ষেত্রের প্রাবল্যের উপর নির্ভর করিবে। প্রাবল্য যত বেশী হইবে বলরেখার সংখ্যাও তত বেশী হইবে। সুতরাং অধিক প্রাবল্যবিশিষ্ট অঞ্চলে বলরেখাগুলি অল্প প্রাবল্যবিশিষ্ট অঞ্চলের তুলনায় ঘন-সন্নিবিষ্ট হইবে। অর্থাৎ বলরেখা সন্নিবেশের ঘনত্ব বলক্ষেত্রের প্রাবল্যের সহিত সমানুপাতী হইবে।

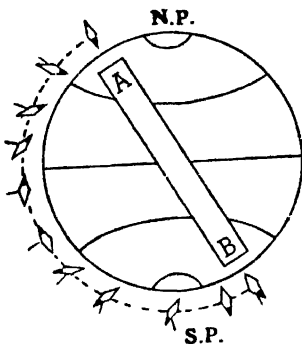
সুষম চৌম্বক বলক্ষেত্র (Uniform Magnetic Field): কোনও চৌম্বক ক্ষেত্রের সর্বত্র প্রাবল্য একই (দিক এবং মাত্রা উভয় বিষয়েই) হইলে ঐ ক্ষেত্রকে সুষম ক্ষেত্র বলে। সুষম বলক্ষেত্রের বলরেখাগুলি সমান্তরাল এবং সর্বত্র সমান ঘনত্ববিশিষ্ট হইবে অর্থাৎ বলরেখাগুলির সহিত

২৭নং চিত্র : সুষম চৌম্বক বলক্ষেত্র

লম্বভাবে যে কোনও স্থানে একক তল কল্পনা করিলে সমান সংখ্যক বলরেখা ঐ তলকে ভেদ করিয়া যাইবে।

ভু-চুম্বকত্ব

Earth as a Magnet]

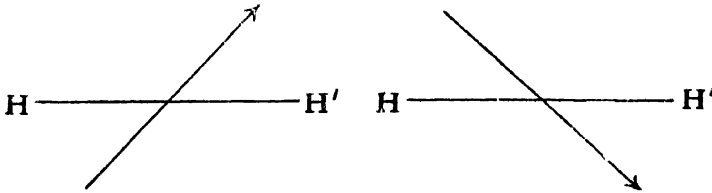
আমরা দেখিয়াছি কোনও চুম্বককে, ঝুলাইয়া, ভাসাইয়া বা কম্পাস কাঁটাকে পিভট বিন্দুতে স্থাপিত অবস্থায় রাখিলে উহা সর্বদা মোটামুটি উত্তর

দক্ষিণ বরাবর থাকে। সুতরাং চুম্বকটি সারা পৃথিবীর উপর বিস্তৃত একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে থাকার জন্য এইরূপ হয় ইহা অনুমান করা স্বাভাবিক। ঐ ঝুলন্ত বা ভাসমান চুম্বক উহার অবস্থানে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের দিগ্-নির্দেশ করিবে। পৃথিবীকে একটি বিশাল চুম্বকরূপে কল্পনা করা হয়। পৃথিবীর চুম্বক ধর্ম হইতে অনুমান করা হয় এই বিশাল ভূ-চুম্বকের মেরু দুইটি পৃথিবীর ভৌগোলিক উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর কাছেই অবস্থিত। যেন পৃথিবী ভেদ করিয়া AB বিশাল বার চুম্বকটি অবস্থিত এবং A ও B ইহার দুইটি মেরু। ছোট ছোট তীর-চিহ্নিত রেখাগুলি বিভিন্ন স্থানে কম্পাস কাঁটার অবস্থান নির্দেশ করিতেছে। সুতরাং ইহাদের অবস্থান হইতে পৃথিবীর চৌম্বক বলরেখার গতি সম্বন্ধেও ধারণা করা যাইতেছে।

২৮নং চিত্র : পৃথিবীর চুম্বক

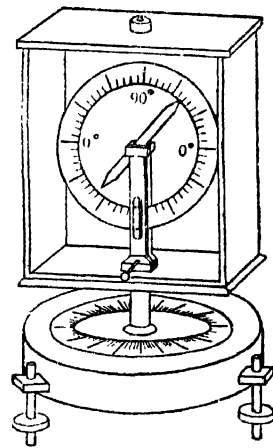
আমরা জানি চুম্বকের সমমেরুর মধ্যে বিকর্ষণ ও অসম মেরু মধ্যে আকর্ষণ হয়। কোনও চুম্বকের উত্তর মেরু উত্তর মেরুকে দূরে ঠেলিয়া দিবে এবং দক্ষিণ মেরু আকর্ষণ করিবে। সুতরাং আমাদের সংজ্ঞানুসারে পৃথিবীর A প্রান্তের (২৮নং চিত্রে) মেরুকে দক্ষিণ মেরু বা দক্ষিণ সন্ধানী মেরু ও B প্রান্তের মেরুকে উত্তর মেরু বা উত্তর সন্ধানী মেরু বলা হয়। অর্থাৎ ভূমণ্ডলে উহাদের প্রকৃত অবস্থানের বিপরীত দিকের দ্বারা উহাদের নামকে চিহ্নিত করিতে হয়। এই অসুবিধা দূর করিবার জন্য কখনও কখনও A ও B প্রান্তের মেরুদ্বয়কে যথাক্রমে নীল মেরু (Blue Pole) ও লাল মেরু (Red Pole) বলা হয়। বাংলায় উহাদের যথাক্রমে সুমেরু ও কুমেরু বলা যাইতে পারে। পৃথিবীর চৌম্বক বলরেখাগুলি কুমেরু হইতে উঠিয়া সুমেরু পর্যন্ত বক্রপথে অবস্থিত হয়। সুতরাং ভূ-পৃষ্ঠের কোনও স্থানে ইহারা দক্ষিণ হইতে উত্তরে যায়।

চৌম্বক মধ্যতল (Magnetic Meridian): ভারকেন্দ্রের উপর ঝুলানো চুম্বক রড বা চুম্বক-শলাকা যখন নির্দিষ্ট অবস্থানে স্থির থাকে সেই অবস্থায় উহার চৌম্বক অক্ষের ভিতর দিয়া কল্পিত উর্ধ্বাধ সমতলকে (Vertical plane-কে) আলোচ্য স্থানের **চৌম্বক মধ্যতল** বলে। কোনও স্থানের চৌম্বক মধ্যতল সর্বদা ভৌগোলিক উত্তর দক্ষিণ বরাবর হয়

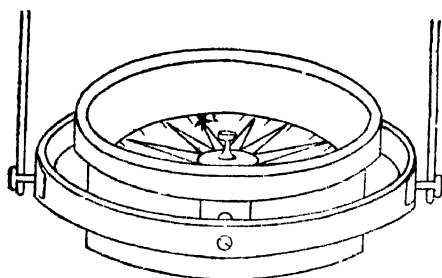
না। সাধারণত ভৌগোলিক মধ্যতল ও চৌম্বক মধ্যতল কোনও কোণে আনত হয়। এই কোণকে বিচ্যুতি (Declination) বলে।

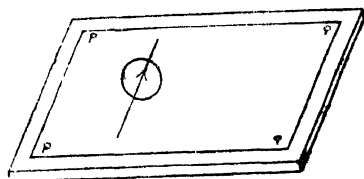
বিনতি : কোনও স্থানের ভূ-চৌম্বক বলরেখাগুলি সাধারণত অনুভূমিক হয় না, অনুভূমিক দিকের সহিত কোনও কোণে আনত থাকে। বলরেখাগুলি উত্তর গোলার্ধে নীচের দিকে ও দক্ষিণ গোলার্ধে উপরের দিকে আনত

২৯নং চিত্র: দক্ষিণ গোলার্ধে ও উত্তর গোলার্ধে H H´ অনুভূমিক রেখা ও বলরেখার অবস্থান

হয় ; [কেবল চৌম্বক নিরক্ষবৃত্তের (Magnetic Equator) উপর বলরেখাগুলি অনুভূমিক]; **কোনও স্থানে অনুভূমিক তলের সহিত পৃথিবীর চৌম্বক বলরেখা যে কোণে আনত হয় তাহাকে আলোচ্য স্থানের চৌম্বক বিনতি (Inclination or Dip) বলে।**

কোনও স্থানের চৌম্বক বিনতি জানিতে হইলে একটি চুম্বক-শলাকাকে ঠিক উহার ভারকেন্দ্রগামী কোনও অনুভূমিক অক্ষের উপর স্থাপন করিতে হইবে। এখন উহাকে অবলম্বনসহ ঘুরাইয়া উহার চৌম্বক অক্ষকে আলোচ্য স্থানের চৌম্বক মধ্যতলে আনিলে উহার উপর ভূ-চৌম্বক-প্রাবল্য পুরাপুরি ক্রিয়া করিবে। এই অবস্থায় উহা অনুভূমিক তলের সহিত যে কোণে আনত হইয়া অবস্থান করিবে তাহাই আলোচ্য স্থানের বিনতি। বিনতি-বৃত্ত (Dip-circle) নামক যন্ত্রটি এই মূলনীতির উপর নির্মিত।

৩০নং চিত্র : বিনতি বৃত্ত

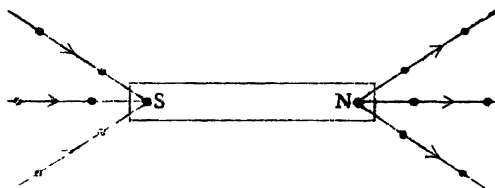
নৌ-কম্পাস বা দিগ্‌-দর্শী চুম্বক (Navigator's Compass): কোনও চুম্বক যদি অনুভূমিক তলে বিনা বাধায় ঘুরিতে পারে তাহা হইলে উহা সর্বদা চৌম্বক মধ্যতল বরাবর অবস্থিত হইবে। সুতরাং ইহাকে দিক নির্ণয়ের উদ্দেশ্যে ব্যবহার করা যাইবে। নৌ-কম্পাস যন্ত্রটি এই মূলনীতির

উপর নির্মিত। সমুদ্রগামী জাহাজে ব্যবহৃত হয় বলিয়া ইহাকে নৌ-কম্পাস বলা হয়। একটি পাতলা কার্ডবোর্ডের চাকতির কোনও ব্যাস বরাবর একটি চুম্বক-শলাকাকে চাকতির সহিত এমনভাবে আঁটা হয় যাহাতে শলাকার ভারকেন্দ্রে চাকতির কেন্দ্র থাকে। চাকতিটির উপর চুম্বক-শলাকার উত্তর মেরুর কাছে উত্তর দিক এবং উপযুক্ত স্থানে দক্ষিণ, পূর্ব, পশ্চিম প্রভৃতি দিকগুলি চিহ্নিত থাকে; চাকতিটিকে একটি পিভট (pivot) বিন্দুর উপর ঠিক কেন্দ্রে স্থাপন করা হয়। চাকতির পরিধিকে বত্রিশটি বিন্দু দ্বারা বত্রিশটি অংশে ভাগ করা হয়। এই বিন্দু-গুলিকে কম্পাসের বত্রিশ বিন্দু (Thirtytwo points of the compass) বলে। বায়ুপ্রবাহ হইতে রক্ষা করিবার জন্য চাকতিটি কাঁচের আবরণে ঢাকা থাকে। দুইটি আংটার সাহায্যে ইহা এমনভাবে ঝুলানো থাকে যাহাতে জাহাজের দোলা ইহাকে স্বাভাবিক অবস্থান হইতে বিচ্যুত করিতে না পারে। ঝুলানোর ব্যবস্থাকে জিম্বল অবলম্বন (Gimbal's Support) বলে।

৩১নং চিত্র : নৌ-কম্পাস

মোটামুটিভাবে কোনও স্থানের চৌম্বক মধ্যতল নির্ণয় : ড্রইং বোর্ডের উপর একখণ্ড সাদা কাগজ পিন দ্বারা আঁটা হইল। কাগজের উপর একটি সরলরেখা আঁকিয়া উহার উপর একটি কম্পাস কাঁটা রাখা হইল। সমস্ত চুম্বক ও চৌম্বক পদার্থ বোর্ড হইতে দূরে সরাইয়া রাখা হইল। সাধারণত কম্পাস কাঁটার অক্ষ সরলরেখাটির সহিত সমান্তরাল না হইয়া কোনও কোণে আনত থাকিবে। এখন সমস্ত বোর্ডখানিকে ধীরে ধীরে ঘুরাইতে হইবে যতক্ষণ কম্পাস কাঁটার চৌম্বক অক্ষ সরলরেখাটির সহিত সমান্তরাল না হয়। যদি বোর্ডটিকে না নাড়া হয় তাহা হইলে এই সরলরেখাটি আলোচ্য স্থানের চৌম্বক মধ্যতলের দিক্ মোটামুটি নির্দেশ করিবে। এক

৩২নং চিত্র : চৌম্বক মধ্যতল নির্ণয়

গাছি সুতাকে কাঠের বা অন্য অচৌম্বক পদার্থের দুইখানি উল্লম্বের (Stand)

সহিত ঐ সরলরেখার সমান্তরালভাবে টান করিয়া বাঁধিয়া দেওয়া যাইতে পারে। ঐ সূতাগাছিই এখন চৌম্বক মধ্যতলের অবস্থান নির্দেশ করিবে।

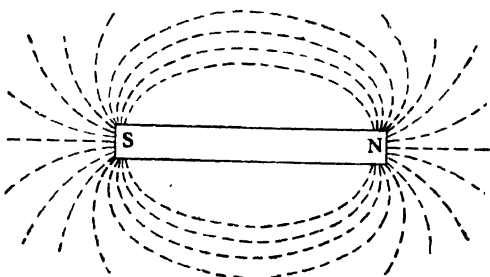
কোনও চুম্বকের মেরু দ্বয়ের অবস্থান নির্ণয়ঃ পূর্বে বর্ণিত উপায়ে একগাছি সূতাকে ড্রইং বোর্ডের উপর দিয়া চৌম্বক মধ্যতল বরাবর রাখা হইল। চুম্বকবারটিকে ড্রইং বোর্ডের কাগজের উপর রাখিয়া উহার সীমানা বরাবর

৩৩নং চিত্র : মেরুদ্বয়ের অবস্থান নির্ণয়

পেন্সিলের রেখা আঁকা হইল। চুম্বকের একপ্রান্তের কাছে একটি কম্পাস কাঁটা রাখা হইল। সমগ্র বোর্ডটিকে এমনভাবে ঘোরান হইল যাহাতে কম্পাস কাঁটাটি সূতার সহিত সমান্তরাল হয়। এই অবস্থায় কম্পাস কাঁটাটির অক্ষ ঠিক চুম্বকবারের আলোচ্য প্রান্তের মেরু ভেদ করিয়া যাইবে; কারণ চৌম্বক মধ্যতল বরাবর থাকায় ইহা ভূ-চুম্বকত্বের জন্য কোনও দিকে ঘুরিবে না। এই অবস্থায় কম্পাস কাঁটার দুই দিকে দুইটি বিন্দু চিহ্ন দেওয়া হইল। কম্পাস কাঁটা একটু সরাইয়া একই প্রক্রিয়ার পুনরাবৃত্তি করা হইল। কম্পাস কাঁটাকে চুম্বকবারে অপর মেরুর কাছে রাখিয়া এই প্রক্রিয়ার পুনবাবৃত্তি করা হইল। এখন কাঁটা ও চুম্বক সরাইয়া প্রত্যেক বারের দুইটি বিন্দু যোগ করিয়া একটি করিয়া সরল রেখা আঁকা হইল। চুম্বকের প্রত্যেক প্রান্তের রেখাগুলি এক-একটি বিন্দুতে মিলিত হইবে। উহারাই চুম্বকটির মেরুদ্বয়ের অবস্থান নির্দেশ করিবে।

স্কেল ও ডিভাইডারের সাহায্যে মেরু দুইটিব ব্যবধান মাপিলে চুম্বকটির দৈর্ঘ্যর তুল্যাঙ্ক (Equivalent length) পাওয়া যাইবে। ইহাকে চুম্বকটির জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য দ্বারা ভাগ করিলে ভাগফল 0·85-এর কাছাকাছি ভগ্নাংশ হইবে।

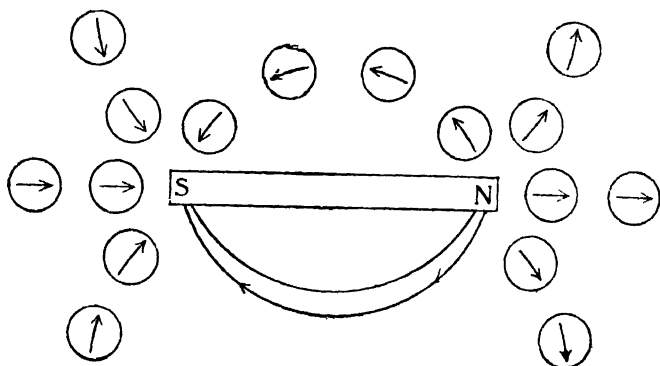
চৌম্বক ক্ষেত্রের নকশা (মানচিত্র) আঁকা (Mapping Magnetic Fields) : চৌম্বক বলরেখাগুলি হইতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রকৃতি সম্বন্ধে ধারণা করা যায়। সুতরাং কোনও চুম্বকের চারিদিকে চৌম্বক বলরেখা অঙ্কন করাকে চৌম্বক ক্ষেত্রের মানচিত্র আঁকা বলা যায়। পূর্বে বলা হইয়াছে, কোনও চৌম্বক বলক্ষেত্র একাধিক চুম্বকের দ্বারা উৎপন্ন হইতে পারে।

কেবল একখানি চুম্বক লইয়া কাজ করিলেও পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্র সর্বদাই বর্তমান থাকে। সুতরাং আমরা যে সমস্ত বলক্ষেত্রের কথা আলোচনা করিব সেই সমস্ত ক্ষেত্রে ভূ-চুম্বক ও গৃহীত চুম্বকের সম্মিলিত ক্ষেত্রের কথাই বিবেচিত হইবে। ভূ-চুম্বকের বলক্ষেত্রে চুম্বকটির বিভিন্ন অবস্থান অনুসারে সম্মিলিত ক্ষেত্রের ধরনও পরিবর্তিত হইবে।

(i) লোহাচুরের সাহায্যে (চুম্বকের উত্তরমেরু উত্তরমুখী রাখিয়া): কম্পাস কাঁটার সাহায্যে পূর্বে বর্ণিত উপায়ে চৌম্বক মধ্যতল নির্ণয় করা হইল। ড্রইং বোর্ডের উপর চুম্বকদণ্ডটির চৌম্বক অক্ষকে মধ্যতলের সমান্তরাল এবং উত্তর মেরুকে চৌম্বক উত্তর মুখ করিয়া কাগজের উপর রাখা হইল। কাগজের উপর

৩৪নং চিত্র: লোহাচুরের সাহায্যে চৌম্বক ক্ষেত্রের মানচিত্র

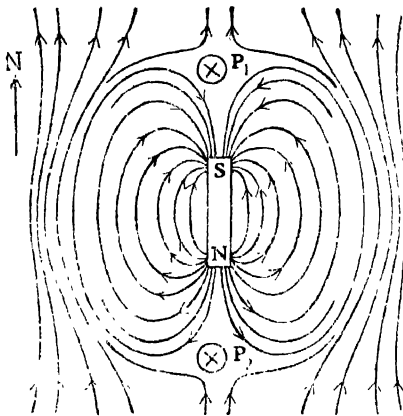
চুম্বকের চারিদিকে লোহাচুর ছড়াইয়া দেওয়া হইল। এখন বোর্ডটির উপর আঙুল দিয়া ধীরে ধীরে টোকা দিলে লোহাচুরগুলি চুম্বকের চারিদিকে নির্দিষ্ট রেখায় সজ্জিত হইবে। চুম্বকদণ্ডের প্রভাবে লোহার টুকরাগুলি আবিষ্টচুম্বকে পরিণত হইয়া চৌম্বক বলরেখা বরাবর সজ্জিত হইল। সুতরাং ঐ রেখাগুলিই চৌম্বক বলরেখা।

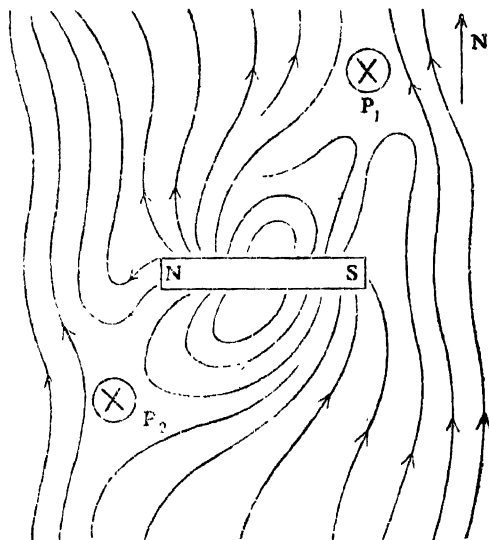
(ii) কম্পাস কাঁটার সাহায্যে: (চুম্বকের উত্তর মেরু উত্তরমুখী রাখিয়া): কম্পাস কাঁটার সাহায্যে চৌম্বক মধ্যতলের দিগ্‌ নির্ণয় করা হইল। ড্রইং বোর্ডে একখণ্ড সাদা কাগজ আঁটিয়া উহার উপর চুম্বকদণ্ডটিকে উত্তর মেরু উত্তরমুখী এবং চৌম্বক অক্ষ চৌম্বক মধ্যতলের সমান্তরাল করিয়া রাখা হইল। সমস্ত চৌম্বক পদার্থ ও চুম্বক দূরে সরাইয়া দেওয়া হইল। এখন কম্পাস কাঁটাটিকে চুম্বকের এক প্রান্তের (মনে করা যাক উত্তর মেরু) কাছে রাখা হইল এবং কাঁটার দুই প্রান্তের কাছে দুইটি বিন্দু চিহ্ন দেওয়া হইল। কম্পাস কাঁটাটিকে সরাইয়া আবার এরূপভাবে বসান হইল যাহাতে দ্বিতীয় বিন্দুর কাছে উহার এক প্রান্ত (এখানে দক্ষিণ মেরু) থাকে। এই ভাবে পরপর বিন্দু আঁকিয়া একটি দীর্ঘ রেখা

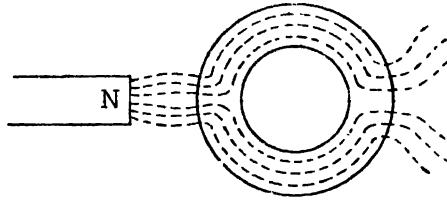
অনুসরণ করা হইল। কতকগুলি রেখা এক মেরুতে শুরু হইয়া বিপরীত মেরুর কাছে শেষ হইবে। আর কতকগুলি রেখা চুম্বক হইতে ক্রমশ দূরে সরিয়া যাইবে। এইভাবে চুম্বকের চারিদিকে যথেষ্ট সংখ্যক রেখা অনুসরণ করা হইলে চুম্বক ও কম্পাস কাঁটা উঠাইয়া লইয়া প্রত্যেক রেখার বিন্দুগুলি পরপর সংযুক্ত করা হইল। রেখাগুলির উপর উপযুক্ত দিকে তীরচিহ্ন আঁকিয়া দেওয়া হইল। মনে রাখিতে হইবে চৌম্বক বলরেখাগুলি উত্তর মেরু হইতে বাহির হয় এবং দক্ষিণ মেরুতে প্রবেশ করে।

৩৫নং চিত্র : চৌম্বক বলরেখা

কোনও চুম্বকের কাছে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব খুব প্রবল। সেইজন্য কাছাকাছি রেখাগুলির ক্ষেত্রে ভূ-চুম্বকের প্রভাব কিছুই নাই ধরা যাইতে পারে। চুম্বক হইতে দূরে গেলে ক্রমশ চুম্বকের প্রভাব ক্ষীণ হইয়া ভূ-চুম্বকের প্রভাব লক্ষ্য করা যায়। চুম্বক হইতে বেশী দূরে গেলে চুম্বকের প্রভাব প্রায় থাকে না এবং ভূ-চুম্বকত্বের জন্যই দক্ষিণ হইতে উত্তরে সমান্তরাল বলরেখাগুলি পাওয়া যায়।

উদাসীন বিন্দু (Neutral Point): দুইটি বিভিন্ন চুম্বকের সম্মিলিত বলক্ষেত্রের মধ্যস্থ কোনও বিন্দুতে যদি একটি চুম্বকের জন্য প্রাবল্য অপর চুম্বকের জন্য প্রাবল্যের ঠিক সমান কিন্তু পরস্পর বিপরীতমুখী হয় তাহা হইলে ঐ বিন্দুতে (বা সংকীর্ণ স্থানে) কোনও চৌম্বক বল ক্রিয়া করে না। ঐ বিন্দুকে (বা সংকীর্ণ স্থানকে) উদাসীন বিন্দু বলে। উদাসীন বিন্দুতে কোনও ছোট কম্পাস কাঁটাকে রাখিলে উহাকে যে দিকে রাখা যায় সেই দিকে অবস্থান করে। উদাসীন বিন্দুর ভিতর দিয়া কোনও বলরেখা যায় না, সুতরাং কম্পাস কাঁটাও কোনও নির্দিষ্ট দিক বরাবর থাকে না, অর্থাৎ উহার দিগ্‌দর্শী ধর্ম প্রকাশ করে না।

উদাসীন বিন্দু নির্ণয় : পূর্বের দ্বিতীয় প্রণালী অনুসারে বলরেখাগুলি অনুসরণ করিবার সময়ে দেখা যাইবে ৩৬নং ও ৩৭নং চিত্রের P_1 এবং P_2 বিন্দুর ভিতর দিয়া কোনও বলরেখা যায় নাই। উহারাই আলোচ্য ক্ষেত্রের উদাসীন বিন্দু।

৩৬নং চিত্র : পৃথিবীর চুম্বক ক্ষেত্রে চুম্বকের S-মেরু উত্তরে রাখিয়া সৃষ্ট চৌম্বক বলক্ষেত্র ও উদাসীন বিন্দু

চৌম্বক অবরোধ বা **আবরণ** (Magnetic shielding): একটি কাঁচের বা কাঠের ছোট বাক্সের মধ্যে একটি চুম্বক শলাকা রাখিয়া বাহিরে বাক্সের দেওয়ালের কাছে কোনও শক্তিশালী চুম্বকের মেরু ধরিলে চুম্বক শলাকার বিক্ষেপণ (deflection) হইবে অর্থাৎ চুম্বক শলাকা একদিকে ঘুরিয়া যাইবে। কিন্তু কাঁচা লোহার পাতে তৈয়ারী একটি ছোট বাক্সে চুম্বক শলাকা রাখিলে চুম্বক শলাকার বিক্ষেপণ হইবে না। এমন কি ভূ-চুম্বকত্বের জন্যও চুম্বক শলাকার যে দিগ্‌দর্শী ধর্ম তাহাও লক্ষ্য করা যাইবে না। অর্থাৎ চুম্বক শলাকাটি যে কোনও দিক বরাবর অবস্থান করিবে। লোহার বাক্সটির সবদিক বন্ধ না করিয়া দেখিবার সুবিধার জন্য উপরের দিক বা উপরের কিছু অংশ খোলা রাখা যাইতে পারে।

৩৭নং চিত্র : পৃথিবীর চুম্বকক্ষেত্রে চুম্বকের N-মেরু উত্তরে রাখিয়া সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র ও উদাসীন বিন্দু

আমরা জানি, ভূ-চুম্বকের ক্ষেত্রে অবস্থিত হওয়ার জন্য চুম্বক-শলাকা ভূ-চুম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশ করে অর্থাৎ আলোচ্য স্থানের ভূ-চুম্বকের বলরেখার সহিত সমান্তরাল ভাবে অবস্থিত হয়। দ্বিতীয়ত, কোনও চুম্বকের ক্ষেত্রে অবস্থিত হওয়ার জন্য শলাকার বিক্ষেপণ হয়। সুতরাং পূর্বের পরীক্ষা হইতে অনুমান করা যায়, চৌম্বক বলরেখাগুলি কাঁচ বা কাঠের আবরণ ভেদ করিয়া যাইতে পারে কিন্তু কাঁচা লোহা বা অন্য চৌম্বক পদার্থের আবরণ

৩৮নং চিত্র : চৌম্বক অবরোধ

ভেদ করিয়া যাইতে পারে না। আসলে ভূ-চুম্বক বা অন্য কোনও চুম্বকের বলক্ষেত্রে কোনও চৌম্বক পদার্থ রাখিলে চারিদিকের প্রায় সমস্ত বলরেখা-গুলি ঐ চৌম্বক পদার্থের ভিতর প্রবেশ করে এবং উহার ভিতর দিয়া দূরবর্তী প্রান্তে পৌঁছাইয়া বাহির হয়। এইজন্য বলা হয় অচৌম্বক পদার্থের তুলনায় চৌম্বক পদার্থের প্রবেশ্যতা (permeability) বেশী। চৌম্বক পদার্থের ভিতর কোনও ফাঁকা অংশ থাকিলে সেই স্থানে কোনও চৌম্বক বলরেখা প্রায় থাকে না বলিলেই হয়। অর্থাৎ ঐ ফাঁকা স্থানটি চৌম্বক প্রভাব হইতে সম্পূর্ণ মুক্ত থাকে। চৌম্বক পদার্থ নির্মিত কোনও বাক্স বা খাঁচার দেওয়ালে অল্প ফাঁকা স্থান থাকিলেও এই নিয়মের কোনও ব্যতিক্রম হয় না। এই প্রণালীতে কোনও স্থানকে চৌম্বক প্রভাব মুক্ত করাকে চৌম্বক অবরোধ বা চৌম্বক আবরণ বলা হয়। চিত্রে (৩৮ নং) একটি চুম্বকের সামনে একটি লোহার আংটি রাখা হইয়াছে। চুম্বকের বলরেখাগুলি সবই আংটির চৌম্বক পদার্থের মধ্য দিয়া গিয়াছে। আংটির ফাঁকা স্থানে কোন বলরেখা নাই সুতরাং চৌম্বক ক্ষেত্রও নাই।

।। সারাংশ ।।

চৌম্বক ক্ষেত্র (Magnetic field) : কোনও চুম্বকের চারিদিকে যে অঞ্চলে উহার প্রভাব অনুভূত হয় তাহাকে ঐ চুম্বকের বলক্ষেত্র বা ক্ষেত্র বলে। চৌম্বক ক্ষেত্র এক বা একাধিক চুম্বকের দ্বারা উৎপন্ন হইতে পারে।

কুলম্বের বলসূত্র : দুইটি মেরুর মেরুশক্তি m_1 ও m_2 এবং উহাদের মধ্যে দূরত্ব d হইলে উহাদের মধ্যে প্রযুক্ত বল $F = \frac{m_1 m_2}{d_2}$.

একক মেরু (Unit Pole): দুইটি ঠিক সমান মেরু এক সে. মি. ব্যবধানে থাকিয়া পরস্পরের উপর যদি এক ডাইন বল প্রয়োগ করে, তাহাদের প্রত্যেককে সি. জি. এস. একক মেরু বা এক মাত্রা সম্পন্ন মেরু বলে। এই সংজ্ঞানুসারে $F = \frac{m_1 m_2}{d^2}$ হইবে।

বলক্ষেত্রের প্রাবল্য (Intensity of Magnetic field): চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনও বিন্দুতে একক উত্তর মেরুর উপর যে বল প্রযুক্ত হয় তাহাকে ঐ বিন্দুর প্রাবল্য বলে। যে বলক্ষেত্রের সর্বত্র প্রাবল্য সমান এবং একই দিকে অবস্থিত তাহাকে সুষম বলক্ষেত্র বলে।

চৌম্বক বলরেখা (Magnetic lines of force): কোনও চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে যে কাল্পনিক বক্ররেখা বিভিন্ন বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করে তাহাকে চৌম্বক বলরেখা বলে। বলক্ষেত্রের প্রাবল্য অনুসারে বলরেখার ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়। সমান্তরাল এবং সর্বত্র সমান ঘনত্ববিশিষ্ট বলরেখা দ্বারা সুষম বলক্ষেত্রকে প্রকাশ করা হয়।

ভু-চুম্বকত্ব : পৃথিবীর চুম্বক ধর্ম হইতে মনে হয় পৃথিবীর দক্ষিণে ও উত্তরে দুইটি চৌম্বক মেরু আছে। দক্ষিণ দিকের মেরুটি সাধারণ চুম্বকের উত্তর মেরুর সমগুণ বিশিষ্ট এবং উত্তর দিকের মেরু সাধারণ দক্ষিণ মেরুর সমগুণ বিশিষ্ট। বলরেখাগুলি দক্ষিণ হইতে উত্তরে গিয়াছে। কোনও অল্পপরিসর স্থানের (যেমন গ্রাম বা শহর) সর্বত্র পৃথিবীর চৌম্বক বলক্ষেত্রকে সুষম ক্ষেত্র ধরা যায়। কোনও স্থানের ভূ চৌম্বক বলক্ষেত্রে প্রাবল্যের দিক অনুভূমিক তলের সহিত যে কোণে আনত হয় তাহাকে ঐ স্থানের **বিনতি** (Dip or Inclination) বলে। বিনতি-বৃত্তের (Dip circle) দ্বারা বিনতি নির্ণয় করা যায়।

চৌম্বক মধ্যতল (Magnetic Meridian): কোনও স্থানে ঝুলানো চুম্বকদণ্ডের চৌম্বক অক্ষের ভিতর দিয়া কল্পিত ঊর্ধ্বাধ সমতলকে ঐ স্থানের চৌম্বক মধ্যতল বলে।

উদাসীন বিন্দু (Neutral point): কোনও বিন্দুতে দুইটি চুম্বকের বলক্ষেত্রের প্রাবল্য সমমান বিশিষ্ট কিন্তু বিপরীতমুখী হইলে ঐ বিন্দুতে কোনও চৌম্বক প্রাবল্য থাকে না এবং উহাকে উদাসীন বিন্দু বলে। পৃথিবী

চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত কোনও চুম্বকের বিভিন্ন অবস্থানে বিভিন্ন স্থানে দুইটি উদাসীন বিন্দু উৎপন্ন হয়।

চৌম্বক অবরোধ (magnetic shielding) : কোনও স্থানকে কাঁচা লোহার অবরণে ঘিরিয়া দিলে ভূ-চুম্বক ও অন্যান্য চুম্বকের বলরেখাগুলি ঐ স্থানের ভিতর দিয়া যাইতে পারে না। ইহাকে চৌম্বক অবরোধ বলা হয়।

অনুশীলনী

1. *State Coulomb's Law of Force between magnetic poles and define C. G. S. unit magnetic pole. Two magnetic poles of strength 5 and 7 C. G. S. units respectively are placed 4 c. m from each other. What is the force between them ?*

2. *What is a magnetic field ? Define intensity of magnetic field at a point. What is a uniform field ? How much force will act upon a pole of strength 5 C. G. S. units placed at a point of intensity 10 oersteds ?*

3. *What are magnetic lines of force ? What properties are attributed to them ? What is the relation between intensity of field and lines of force ? What is the nature of the lines of force in a uniform field ?*

4. *Give a brief account of the magnetic property of the Earth. What is inclination or dip ? How can the dip of a place be determined ?*

5. *Describe briefly a navigator's compass.*

6. *Draw magnetic maps and point out the neutral points in each of the following cases : (i) North pole of magnet pointing North, (ii) North pole of magnet Pointing South, (iii) Magnetic axis perpendicular to the magnetic meridian.*

7. *Describe any method of mapping the field due to a bar magnet placed in the magnetic field of the earth.*

8. *Describe any method of locating the poles of a bar magnet.*

9. *Explain briefly with diagrams : Magnetic meridian, Neutral points, Blue-Pole and Red-Pole of terrestrial magnet, Inclination or Dip, Magnetic shielding or screening.*

পঞ্চম অধ্যায়

চুম্বকত্ব

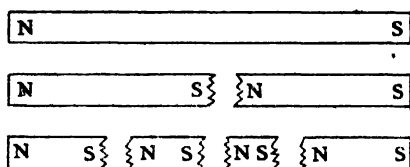
চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব ও চুম্বকন-প্রক্রিয়া

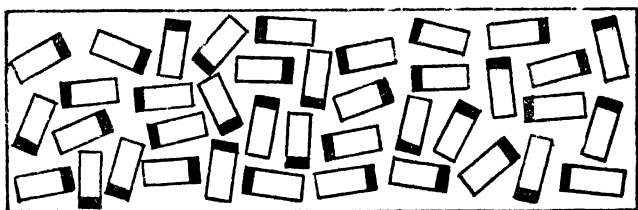
[Molecular theory of Magnetism and methods of Magnetisation]

বিচ্ছিন্ন মেরু পাওয়া অসম্ভব : একটি চুম্বকদণ্ড ভাঙিয়া দুই টুকরা করিলে দুইটি ভাঙা প্রান্তে দুইটি বিপরীত মেরুর উৎপত্তি হয় এবং ভাঙা টুকরা দুইখানি দুইটি চুম্বকে পরিণত হয়। উহাদের প্রত্যেক টুকরাকে যদি আবার ভাঙিয়া দুই টুকরা করা হয়, আবার প্রত্যেক টুকরা দুই বিপরীত

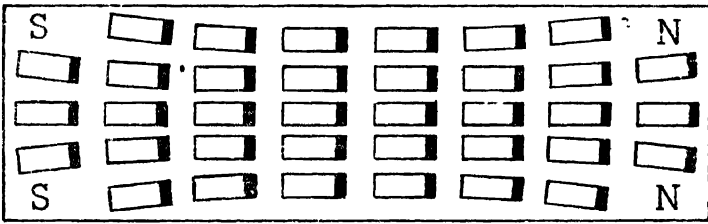
N S

N S N S

N S N S N S N S

৩৯নং চিত্র : চুম্বকদণ্ড ভাঙিলে প্রতিখণ্ডে দুই বিপরীত মেরুর উৎপত্তি

মেরুবিশিষ্ট এক একটি চুম্বকে পরিণত হয়। এইভাবে ক্রমাগত ভাঙিয়া গেলে সর্বদা দুই মেরুবিশিষ্ট চুম্বক পাওয়া যাইবে। সুতরাং অনুমান করা যায় চুম্বকটিকে ক্ষুদ্রতম অংশে ভাঙিয়া ফেলিলে তাহারও দুইদিকে দুইটি বিপরীত মেরু অবস্থিত থাকিবে এবং একটি বিচ্ছিন্ন উত্তর মেরু বা দক্ষিণ মেরু পাওয়া কার্যত অসম্ভব।

৪০নং চিত্র : অচুম্বক চৌম্বক পদার্থ

আণবিক চুম্বকত্ব : এই সহজ পরীক্ষাটির ভিত্তিতে বিজ্ঞানী ওয়েবার (Weber) চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্বের অবতারণা করেন। এই তত্ত্ব

অনুসারে কোনও চৌম্বক পদার্থের প্রত্যেকটি অণু (molecule) দুই বিপরীত মেরুবিশিষ্ট এক একটি স্বতন্ত্র চুম্বক। ইহাদিগকে ওয়েবার উপাদান (Weber element) বলে। চৌম্বক পদার্থে গঠিত বস্তুটি চুম্বক বা অচুম্বক (যেমন সাধারণ একটি লোহার রড) যাহাই হউক না কেন, উহা সর্বদা এই আণবিক চুম্বক দ্বারা গঠিত হইবে। কিন্তু অচুম্বক চৌম্বক পদার্থে আণবিক চুম্বকগুলি এলোমেলো ভাবে সাজানো থাকে। তাহার ফলে সমান শক্তিবিশিষ্ট বিপরীত মেরুগুলি পরস্পরের প্রভাব সম্পূর্ণ লোপ করিয়া দেয়। সেই জন্য বাহির হইতে চুম্বকত্বের কোনও লক্ষণ পাওয়া যায় না। কিন্তু কোনও উপায়ে এই ওয়েবার উপাদানগুলিকে যদি এমনভাবে সাজানো যায় যে একপ্রান্তে কতকগুলি উত্তর মেরু এবং দূরবর্তী বিপরীত প্রান্তে কতকগুলি দক্ষিণ মেরু থাকে তাহা হইলে ঐ উত্তর মেরুগুলির সংযোগে

৪১নং চিত্র : চুম্বকিত চৌম্বক পদার্থের বিন্যাস

একটি উত্তর মেরু এবং দক্ষিণ মেরুগুলির সংযোগে একটি দক্ষিণ মেরু উৎপন্ন হয় এবং দণ্ডটির সাধারণ চৌম্বক ধর্ম লক্ষ্য করা সম্ভব হয়।

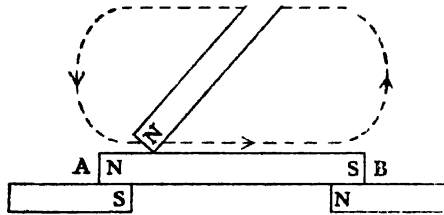
বিজ্ঞানী ইয়ুইং (Ewing)-এর মতে অচুম্বক চৌম্বক পদার্থে ওয়েবার উপাদান বা আণবিক চুম্বকগুলি এক একটি মালার আকারে সাজানো থাকে। চুম্বকে পরিণত হইবার সময় উহাদের মালাগুলি ভাঙিয়া যায় এবং আণবিক চুম্বকগুলি নির্দিষ্ট দিকে সজ্জিত হয়। বর্তমানে এই মতবাদেরও পরিবর্তন হইয়াছে।

চুম্বকনের মাত্রা ও চৌম্বক সম্পৃক্তি (Degree of magnetisation and magnetic saturation): অচুম্বক পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করাকে চুম্বকন (magnetisation) বলে। আণবিক চুম্বকত্ব অনুসারে চৌম্বক পদার্থের ওয়েবার উপাদানগুলি এলোমেলোভাব হইতে যত সুশৃঙ্খল রেখায় সজ্জিত হয় তত চুম্বকটি শক্তিশালী হয় অর্থাৎ চুম্বকনের মাত্রা বৃদ্ধি পায়। যখন এই সুশৃঙ্খল সজ্জা চূড়ান্ত পর্যায়ে পৌঁছায় তখন আণবিক উপাদানগুলি প্রায় সমান্তরাল রেখায় সজ্জিত হয় (৪১ নং চিত্র)। এই অবস্থাকে চৌম্বক সম্পৃক্তি

(magnetic saturation) বলে। কোনও চৌম্বক পদার্থে গঠিত বস্তুকে ইহার চেয়ে ভালোভাবে চুম্বকিত করা যায় না। অর্থাৎ ইহার চেয়ে শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত করা যায় না।

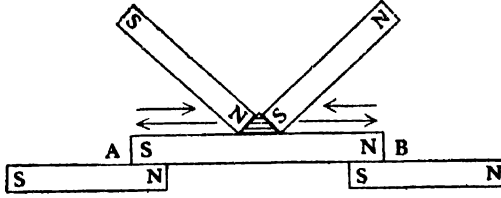
চুম্বকন প্রক্রিয়া (methods of magnetisation): অচুম্বক চৌম্বক পদার্থকে (i) ঘর্ষণ, (ii) আবেশ, অথবা (iii) বিদ্যুৎ প্রবাহের সাহায্যে চুম্বকিত করা যাইতে পারে।

(i) **ঘর্ষণ দ্বারা:** ঘর্ষণ-প্রক্রিয়া আবার তিন রকমের হইতে পারে: (ক) একক স্পর্শ (single touch), (খ) দ্বৈত-স্পর্শ (double touch) এবং (গ) বিচ্ছিন্ন-স্পর্শ (divided touch).

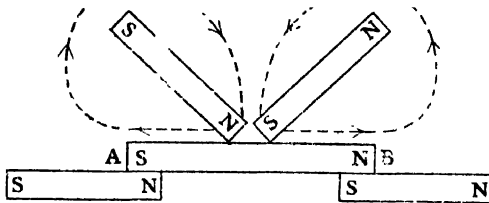
(ক) **একক-স্পর্শ:** AB একটি ইস্পাতের টুকরা। NS চুম্বকটির N প্রান্ত AB ইস্পাতের উপর এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্ত (মনে কর A হইতে B) পর্যন্ত ঘষিয়া তুলিয়া লওয়া হইল। আবার ঐভাবে A হইতে B পর্যন্ত

৪২নং চিত্র: একক-স্পর্শ

ঘষিয়া তুলিয়া লওয়া হইল। এইভাবে অনেকবার (অন্তত 70-80 বার) ঘষিবার পর AB দণ্ডটিকে উল্টাইয়া (অর্থাৎ নীচের তল উপরে তুলিয়া) আবার ঐভাবে অনেক বার ঘষা হইল। ইহাতে A প্রান্তে উত্তর মেরু ও B প্রান্তে দক্ষিণ মেরুর উৎপত্তি হইবে। সাধারণ নিয়ম হইল, চুম্বকের কোনও মেরুকে দণ্ডটির যে প্রান্ত হইতে উঠাইয়া লওয়া হইবে ঐ প্রান্তে ঘর্ষণকারী মেরুর বিপরীত মেরু উৎপন্ন হইবে। AB দণ্ডটিকে নীচের দুই প্রান্তে দুইটি চুম্বকের বিপরীত মেরুর উপর রাখিলে চুম্বকন আরও ভালো হয়। যে প্রান্তে যে মেরু উৎপন্ন হইবার কথা তাহার বিপরীত মেরুর উপর সেই প্রান্তকে রাখিতে হইবে।

(খ) **দ্বৈত স্পর্শ:** এই প্রণালীতে দুইটি চুম্বকের দুইটি বিপরীত মেরুকে পরস্পরের কাছে রাখিয়া মাঝখানে একটি ছোট কাঠের টুকরা রাখিয়া AB ইস্পাতের দণ্ডটির মাঝখানে রাখা হইল। চুম্বক দুইটিকে এই অবস্থায়

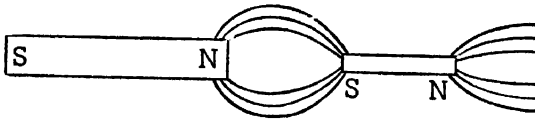
ধরিয়া মাঝখান হইতে একবার A প্রান্তে এবং আবার B প্রান্তে ঘষিয়া লওয়া হইতে লাগিল। অনেকবার ঘষিবার পর মাঝখানে থামা হইল। তার পর AB দণ্ডটিকে উলটাইয়া আবার ঐভাবে ঘষা হইল। ইহাতে AB দণ্ডটি

৪৩নং চিত্র : দ্বৈতস্পর্শ

চুম্বকে পরিণত হইবে। কোন্ দিকে কোন্ মেরুর উৎপত্তি হইবে তাহা ৪৩ নং চিত্র হইতে বুঝা যাইবে। AB দণ্ডটির নীচে দুই প্রান্তে দুইটি চুম্বকের বিপরীত মেরু রাখিলে চুম্বকন সহজ ও প্রবল হয়। একক স্পর্শ অপেক্ষা দ্বৈত-স্পর্শ উন্নততর প্রণালী।

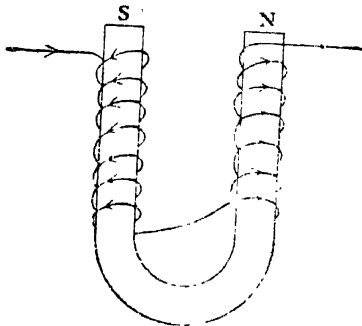
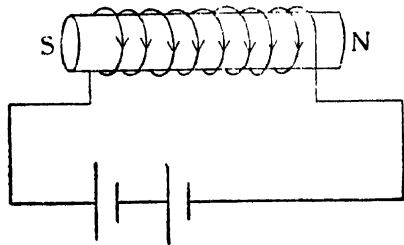
(গ) **বিচ্ছিন্ন-স্পর্শ** (Divided touch) : দুইটি চুম্বকের দুই বিপরীত মেরু কাছাকাছি রাখিয়া AB ইস্পাতের দণ্ডটির মাঝখানে রাখা হইল। চুম্বক দুইটির অপর দুই প্রান্ত দুই হাতে ধরিয়া AB-র উপর দুইদিকে দুই প্রান্ত পর্যন্ত ঘষিয়া লওয়া হইল। অবার উহাদের মাঝখানে আনিয়া

৪৪নং চিত্র : বিচ্ছিন্ন স্পর্শ

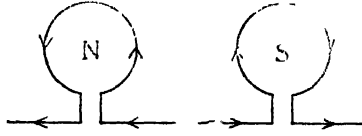
ঐভাবে ঘষিয়া লওয়া হইল। এইরূপে অনেকবার ঘষিয়া AB দণ্ডটিকে উলটাইয়া রাখিয়া আবার ঐভাবে অনেকবার ঘষা হইল। ইহাতে AB দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হইবে। দণ্ডটির কোন্ দিকে কোন্ মেরুর উৎপত্তি হইবে তাহা ৪৪ নং চিত্র হইতে বুঝা যাইবে। AB দণ্ডটির নীচে চিত্রে প্রদর্শিত উপায়ে দুই প্রান্তে দুইটি চুম্বকের বিপরীত মেরু রাখিলে প্রণালী আরও সহজ হয়। বিচ্ছিন্ন স্পর্শ প্রণালীও একক স্পর্শ প্রণালী হইতে উন্নততর।

(ii) **চৌম্বক আবেশ প্রণালী :** একটি অচুম্বক ইস্পাতের দণ্ডকে কোনও চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখিলে উহার মধ্যে চৌম্বক আবেশের জন্য চুম্বকত্বের উৎপত্তি হয়। দণ্ডটির দৈর্ঘ্যকে ক্ষেত্রের বলরেখাগুলির সহিত সমান্তরালভাবে রাখিলে চুম্বকন দ্রুত ও প্রবল হয়। ইস্পাতের দণ্ডটিকে একটু দীর্ঘকাল রাখিয়া দিলে তবেই চুম্বকন স্থায়ী হয়। কাঁচা লোহার দণ্ড লইলে চুম্বকত্ব খুব প্রবল হয় কিন্তু স্থায়ী হয় না, অর্থাৎ ক্ষেত্র হইতে অপসারিত করিলে উহার চুম্বকত্ব লোপ পায়।

পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্র সর্বত্র বর্তমান আছে। সেইজন্য দীর্ঘকাল একই ভাবে রাখা ইস্পাতের দণ্ডে পৃথিবীর চৌম্বক আবেশ দ্বারা চুম্বকত্ব

৪৫ নং চিত্র : চৌম্বক আবেশ প্রণালী

উৎপন্ন হয়। উর্ধ্বাধভাবে অবস্থিত লোহার দণ্ড (যেমন জাহাজের মাস্তুল প্রভৃতি) পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্যের উর্ধ্বাধ উপাংশ (Vertical Component)-এর প্রভাবে দীর্ঘকাল থাকিয়া স্থায়ী চুম্বকে পরিণত হয়। সর্বদা একই ভাবে রাখা ইস্পাতের যন্ত্রপাতিতেও পৃথিবীর চৌম্বক আবেশের দ্বারা চুম্বকত্ব উৎপন্ন হইতে পারে। ইহাদের চৌম্বকত্ব মধ্যতল বরাবর রাখিলে চুম্বকন ক্রিয়া দ্রুত ও সহজ হয়।

৪৬নং চিত্র : অশ্বক্ষুরাকৃতি তড়িৎ-চুম্বক

(iii) **তড়িৎ-চুম্বক** (Electromagnet): কাঁচা লোহার একটি দণ্ডের উপর (Insulated) অন্তরিত ধাতুর তার জড়াইয়া ঐ তারে তড়িৎ প্রবাহ চালাইলে লোহার দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হয় এবং লোহাকে আকর্ষণ করে। বিদ্যুৎপ্রবাহ বন্ধ করিলে কাঁচা লোহার চুম্বকত্বও থাকে না। বিদ্যুৎ প্রবাহের দ্বারা কোন্ দিকে কোন্ মেরুর উৎপত্তি হইবে তাহা

৪৭নং চিত্র : তড়িৎ-চুম্বক

বিদ্যুৎ-প্রবাহের দিকের উপর নির্ভর করে। তারের কুণ্ডলীর অক্ষবরাবর কুণ্ডলীর দিকে চাহিলে যদি দর্শকের নিকট প্রবাহকে ঘড়ির **কাঁটা-ওয়ারী** বা **ঘটিকাবর্তী** (Clock-wise) অর্থাৎ ঘড়ির কাঁটার মত ঘুরিতে দেখা যায় তাহা হইলে দর্শকের নিকটবর্তী প্রান্ত তড়িৎ-চুম্বকের দক্ষিণ মেরু এবং যদি অ-ঘটিকাবর্তী (anticlock-wise) মনে হয় তাহা হইলে নিকটবর্তী

৪৮নং চিত্র : মেরু নির্ণয়

মেরু উত্তর মেরু হইবে। অশ্বক্ষুরাকৃতি তড়িৎ-চুম্বক নানা বৈদ্যুতিক যন্ত্রে খুব বেশী ব্যবহৃত হয়। তড়িৎ-প্রবাহ বাড়াইলে চুম্বকনও প্রবল হইতে থাকে এবং শেষ পর্যন্ত বস্তুটির চৌম্বক সম্পৃক্তি হইয়া যায়। তারপর অবশ্য তড়িৎ-প্রবাহ বাড়াইলেও আর চুম্বকনের কোনও উন্নতি হওয়া সম্ভব নয়।

আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে বিভিন্ন ঘটনার ব্যাখ্যা

চৌম্বক আবেশের ব্যাখ্যা : কোনও চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চৌম্বক পদার্থকে রাখিলে তাহার ওয়েবার উপাদান বা আণবিক চুম্বকগুলি ঐ ক্ষেত্রের চৌম্বক বলরেখা বরাবর সজ্জিত হইতে চেষ্টা করে। তাহার ফলে উহারা রৈখিক সজ্জায় সজ্জিত হয় এবং দুই দিকে দুই বিপরীত মেরু উৎপত্তি করে। এইভাবে বহুক্ষণ রাখিয়া দিলে রৈখিক সজ্জা অনেকটা স্থায়ী হইয়া যায়। এইরূপে আবেশের সাহায্যে চুম্বকন হয়।

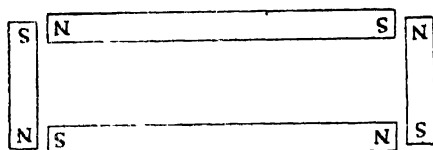
ঘর্ষণ প্রণালী ব্যাখ্যা : একটি মেরু চৌম্বক পদার্থের উপরে ঘষিলেও উহার আণবিক চৌম্বকগুলি সজ্জিত হইয়া যায়। যত বেশীবার ঘষা যায় তত সজ্জাও সুশৃঙ্খল হয় এবং চুম্বকত্বও প্রবল হয়।

চুম্বকত্ব নাশ [Destruction of magnetism]

(1) কোনও চুম্বককে খুব জোরে হাতুড়ি দ্বারা পিটাইলে উহার চুম্বকত্ব হ্রাস বা একেবারে নষ্ট হইয়া যাইতে পারে। (2) কোনও চৌম্বক ক্ষেত্রে চুম্বকটিকে বিপরীত ভাবে রাখিলে অর্থাৎ যে দিক হইতে বলরেখাগুলি আসিতেছে, সেই দিকে উত্তর মেরু রাখিলে দীর্ঘকাল পরে উহার চুম্বকত্ব নষ্ট হয়। চুম্বকটির সহিত অপর একটি চুম্বকের সমমেরু দুইটি সংলগ্ন অবস্থায় রাখিয়া দিলেও চুম্বকত্ব নষ্ট হয়। (3) কোনও চুম্বককে উত্তপ্ত করিলে উহার চুম্বকত্ব

ক্রমশ, হ্রাস পাইতে থাকে এবং আবার উষ্ণতা হ্রাস করিলে সাধারণত চুম্বকত্ব ফিরিয়া আসে। কিন্তু উষ্ণতা একটি নির্দিষ্ট তাপাঙ্ককে ছাড়াইয়া গেলে চুম্বকত্ব সম্পূর্ণ লোপ পায়। এই উষ্ণতা চুম্বকটির উপাদানের উপর নির্ভর করে এবং ইহাকে কুরী তাপাঙ্ক (Curie point) বলে। লোহার ক্ষেত্রে কুরী তাপাঙ্ক 820° সে. ; (4) কোনও চুম্বকের উপর অন্তরিত (Insulated) তার জড়াইয়া পরিবর্তী বিদ্যুৎ-প্রবাহ (Alternating Current) চালাইলেও উহার চুম্বকত্ব নষ্ট হইয়া যায়।

প্রবল আঘাতে আণবিক চৌম্বকগুলির রৈখিক সজ্জা নষ্ট হইয়া যায়। চৌম্বক ক্ষেত্রে বিপরীত ভাবে রাখা বা অপর চুম্বকের সমমেরুকে সংলগ্ন অবস্থায় রাখারও ফল তাহাই। উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে আণবিক চৌম্বক-গুলির চলাচল বৃদ্ধি পায় এবং রৈখিক সজ্জা ভাঙিয়া যায়। কুরী তাপাঙ্ক ছাড়াইলে ঐ রৈখিক সজ্জা আর ফিরিয়া আসে না।

চৌম্বক রক্ষক (Magnetic Keepers) : চুম্বককে অযত্নে রাখিলে উহার চুম্বকত্ব নানাভাবে নষ্ট হইয়া যাইতে বা কমিয়া আসিতে পারে

৪৯নং চিত্র : চৌম্বক রক্ষক

সেইজন্য দুইখানি চুম্বকের পরস্পর বিপরীত মেরু একদিকে রাখিয়া উহাদের একটি কাঠের বাক্সে রাখিয়া দুই প্রান্তে দুইটি লোহার টুকরা উহাদের সহিত সংলগ্ন করিয়া রাখা হয়। লোহার টুকরা দুইটি আবেশের দ্বারা চুম্বকে পরিণত হয় এবং বিপরীত মেরু সংলগ্ন অবস্থায় থাকায় চুম্বক দুইখানির আণবিক চৌম্বকগুলির রৈখিক সজ্জা সবল থাকে এবং বাহিরের প্রবাহ হইতে অনেকটা মুক্ত থাকে। এইভাবে রাখিলে চুম্বক দুইটির চুম্বকত্ব দীর্ঘদিন ধরিয়া প্রা সমান থাকে।

সারাংশ

কোনও চুম্বকের বিভাজন প্রক্রিয়া দ্বারা একটি মেরুকে বিচ্ছিন্ন করা সম্ভব নয়। ওয়েবারেব মতে চৌম্বক পদার্থের অণুগুলি দুইটি বিপরীত মেরু-বিশিষ্ট এক একটি চুম্বক। ইহাদের ওয়েবার উপাদান বলে। সাধারণ

অবস্থায় ইহারা এলোমেলো ভাবে বা ইউইং-এর মতে শৃঙ্খলিত সজ্জায় অবস্থিত থাকে। কিন্তু চুম্বকের মধ্যে ইহারা রৈখিক সজ্জায় সজ্জিত থাকে এবং দুইদিকে বিপরীত মেরুর উৎপত্তি হয়। রৈখিক সজ্জা সুসম্পূর্ণ হইলে চুম্বকটি চরম চৌম্বক শক্তি লাভ করে এবং উহার চৌম্বক সম্পৃক্তি ঘটে।

একক-স্পর্শ (Single touch), দ্বৈত-স্পর্শ (Double touch), বিচ্ছিন্ন স্পর্শ (Divided touch) প্রভৃতি বিভিন্ন প্রক্রিয়ায় ঘর্ষণ দ্বারা অচুম্বককে চুম্বকে পরিণত করা যায়। চৌম্বক আবেশ ও বিদ্যুৎ প্রবাহ দ্বারাও চুম্বকন করা যায়। বিদ্যুৎ প্রবাহের ক্ষেত্রে যে প্রান্তের দিকে চাহিলে বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘটিকাবর্তী (clock-wise) মনে হয় সেই প্রান্তে দক্ষিণ মেরু এবং বিপরীত প্রান্তে উত্তর মেরুর উৎপত্তি হয়। সমস্ত চুম্বকন প্রতিক্রিয়াতেই চৌম্বক পদার্থের আণবিক চুম্বকগুলিকে শৃঙ্খল-সজ্জা হইতে রৈখিক সজ্জায় লইয়া যাওয়া হয়।

প্রবল আঘাত, অন্য চুম্বকের সমমেরুর সহিত সংলগ্ন অবস্থায় রাখা প্রভৃতি কারণে চুম্বকত্ব নষ্ট হয়। উষ্ণতা বৃদ্ধি করিয়া আলোচ্য চৌম্বক পদার্থকে কুরী তাপাঙ্কের উপরে তুলিলেও চুম্বকত্ব নষ্ট হয়।

অনুশীলনী

1. Give a brief explanation of the molecular theory of magnetism.

2. Describe the following methods of magnetisation : (i) Single touch, (ii) Double touch, (iii) Divided touch, (iv) By induction.

3. What is an electromagnet ? Explain with diagrams what decides the nature of the poles of an electromagnet.

4. Explain the frictional and the induction methods of magnetisation in the light of the molecular theory.

5. In how many ways can magnetisation be destroyed ? What is Curie point ?

6. What are magnetic Keepers and what is the principle of their use ?

ষষ্ঠ অধ্যায়

স্থির-বিদ্যুৎ

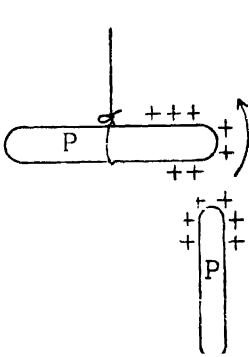
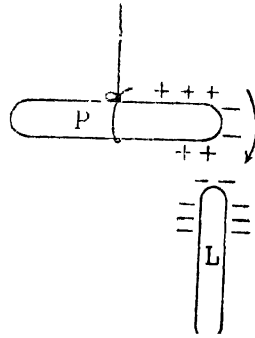
[Statical Electricity]

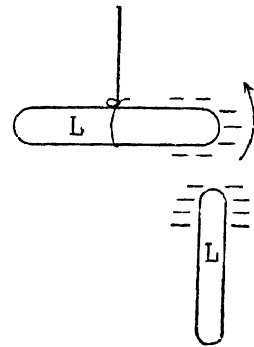
বৈদ্যুতিক আধান ও উহার বিভিন্ন ধর্ম

ভূমিকা: বিদ্যুৎ বা তড়িৎকে বর্তমান যুগে আমরা নানা প্রয়োজনে ব্যবহার করিতেছি। সাধারণত যে বিদ্যুৎকে আমরা ব্যবহার করি তাহা তারের ভিতর দিয়া প্রবাহমান বিদ্যুৎ বা **চল-বিদ্যুৎ** (current electricity). বিদ্যুৎ-শক্তি যদি কোনও স্থানে বা বস্তুতে স্থির অবস্থায় থাকে তাহাকে বলে **স্থির-বিদ্যুৎ** (statical electricity). আকাশের বিদ্যুতের সহিত মানুষের পরিচয় আদিম যুগ হইতে। খৃষ্টপূর্ব ৬০০ সালে থেল্‌স্ (Thales) নামক খ্যাতনামা গ্রীক দার্শনিক প্রথম লক্ষ্য করেন Amber বা **সোলেমানী পাথরকে** রেশম দ্বারা ঘষিলে amber-এর ছোট ছোট বস্তুকে আকর্ষণ করিবার ক্ষমতা জন্মায়। ইহাই বোধ হয় বিদ্যুৎ লইয়া মানুষের প্রথম পরীক্ষা। থেল্‌স্ অবশ্য তখন জানিতে পারে নাই যে amber-এর মধ্যে ঘর্ষণের দ্বারা উৎপন্ন স্থির-বিদ্যুৎই এই আকর্ষণের কারণ: স্থির-বিদ্যুৎ সম্বন্ধে নিয়মিত গবেষণা আরম্ভ হয় ষোড়শ শতাব্দীতে। Amber-এর অপর নাম elektron হইতে বিদ্যুতের নাম electricity হইয়াছে।

ঘর্ষণজাত বিদ্যুৎ: একখানি শুকনা রেশমের টুকরা দ্বারা একটি কাঁচের রডকে ঘষিলে রডটি কাগজের ছোট ছোট টুকরাকে আকর্ষণ করে। চিরুনি দ্বারা মাথা আঁচড়াইবার সময় মাঝে মাঝে মনে হয় যেন চিরুনি ও চুল পরস্পরকে আকর্ষণ করিতেছে। ইবনাইট (Ebonite) ও ফ্লানেল, গালা ও পশুলোম, প্লাস্টিক বা পার্স্‌পেক্‌স্ (perspex) ও রেশম লইয়া ঘষিলেও দেখা যায় ইবনাইট, গালা ও প্লাষ্টিকের রডগুলি কাগজ বা কাপড়ের ছোট ছোট টুকরাকে আকর্ষণ করে। নানা প্রকার দণ্ডের মধ্যে এই যে আকর্ষণী ক্ষমতা জন্মায় ইহার কারণ ঘর্ষণের দ্বারা ইহাদের মধ্যে উৎপন্ন স্থির-বিদ্যুৎ। এই স্থির-বিদ্যুৎকে **বৈদ্যুতিক আধান** বা চার্জ (electric charge) বলে। যে বস্তুতে চার্জ উৎপন্ন হয় তাহাকে চার্জড্ (charged) বা আহিত **বিদ্যুৎগ্রস্ত** বস্তু বলে। এই চার্জের জন্য রডগুলি ছোট ছোট বস্তুকে আকর্ষণ করে

ঘর্ষণের দ্বারা উৎপন্ন হয় বলিয়া এই প্রকার বিদ্যুৎকে **ঘর্ষ-বিদ্যুৎ** (Frictional electricity) বলে।

ঘর্ষ-বিদ্যুতের প্রকৃতি সম্বন্ধে আরও নানা রকম পরীক্ষা করা যাইতে পারে। একটি প্লাস্টিকের রডকে রেশম দ্বারা উত্তমরূপে ঘষিয়া সুতার

৫০নং চিত্র : বিকর্ষণ ৫১নং চিত্র : আকর্ষণ

সাহায্যে দোলনায় (stirrup) ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। এখন দ্বিতীয় একটি প্লাস্টিক রডকেও ঐভাবে ঘষিয়া উহার ঘষিত প্রান্তকে ঝুলানো রডটির ঘর্ষিত প্রান্তের কাছে ধরিলে ঝুলানো রডটির বিকর্ষণ হইবে অর্থাৎ উহা দূরে সরিয়া যাইবে। কিন্তু রেশমে ঘষা একটি গালার রডকে প্লাস্টিক রডটির কাছে ধরিলে উভয়ের মধ্যে আকর্ষণ হইবে। আবার রেশমে ঘষা একটি গালার রডকে ঝুলাইয়া উহার কাছে রেশমে ঘষা দ্বিতীয় একটি গালার রড আনিলে উভয়ের মধ্যে বিকর্ষণ হইবে।

৫২ নং চিত্র : বিকর্ষণ

এই পরীক্ষাগুলি হইতে দেখা গেল দুইটি চার্জড্ বা আহিত বস্তুর মধ্যে আকর্ষণ ও বিকর্ষণ দুইই হইতে পারে। দুইটি বস্তু একই প্রণালী সাহায্যে আহিত হইলে উহাদের মধ্যে বিকর্ষণ হয়। কিন্তু বিভিন্ন প্রণালীতে আহিত হইলে উহাদের মধ্যে আকর্ষণও হইতে পারে। একই প্রণালীর সাহায্যে আহিত বস্তুর চার্জ এক জাতীয় হইবে ধরা যাইতে পারে। সুতরাং এক জাতীয় চার্জ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। নানা প্রকার পদার্থ লইয়া ঘর্ষণদ্বারা আহিত করিলে

উহাদের মধ্যে হয় আকর্ষণ না হয় বিকর্ষণ হইবে। সুতরাং বৈদ্যুতিক চার্জকে দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যাইতে পারে। সম জাতীয় দুইটি চার্জের মধ্যে বিকর্ষণ এবং অসমজাতীয় আধানের মধ্যে আকর্ষণ হয়। এক প্রকারের চার্জকে পজিটিভ (positive) চার্জ এবং অন্যপ্রকার চার্জকে নেগেটিভ (negative) চার্জ বলা হয়। পূর্বে বর্ণিত পরীক্ষায় প্লাস্টিকের আধানকে পজিটিভ এবং গালা ও ইবনাইট-এর চার্জকে নেগেটিভ চার্জ বলে। দুই প্রকারের চার্জ সমপরিমাণে লইলে উহারা পরস্পরের প্রভাবকে অবলুপ্ত করে বলিয়া উহাদের এই প্রকার নাম দেওয়া হইয়াছে।

কাঁচ, প্লাস্টিক বা অন্য কোনও রডকে রেশম প্রভৃতি দ্বারা ঘষিলে কেবল রডটিই বিদ্যুৎগ্রস্ত হয় না, রেশম প্রভৃতি ঘর্ষক বস্তুও বিদ্যুৎগ্রস্ত হয়। ঘর্ষক ও ঘষিত বস্তু দুইটির মধ্যে পরস্পর বিপরীত জাতীয় চার্জ উৎপন্ন হয়। নানাবিধ বস্তুর বিশেষভাবে রচিত একটি তালিকা এখানে দেওয়া হইল।

তালিকা

প্লাস্টিক	রেশম	এম্বার (Amber)
পশুলোম	ধাতু	গন্ধক
ফ্লানেল	রজন	ইত্যাদি।
কাঁচ		

এই তালিকার যে কোনও দুইটি বস্তু পরস্পর ঘষিলে উভয়েই বিদ্যুৎগ্রস্ত হইবে, কিন্তু যে বস্তুটির স্থান তালিকায় আগে তাহাতে পজিটিভ চার্জ এবং যাহার স্থান পরে তাহাতে নেগেটিভ চার্জ উৎপন্ন হইবে। রেশম ও কাঁচ লইলে কাঁচে পজিটিভ চার্জ এবং রেশমে নেগেটিভ চার্জ উৎপন্ন হইবে, কিন্তু রজন ও রেশম লইলে রজনে নেগেটিভ চার্জ ও রেশমে পজিটিভ চার্জ উৎপন্ন হইবে।

প্রকৃতপক্ষে যে কোনও দুইটি বস্তুকে ঘষিলেই ঘর্ষণের দ্বারা দুইটি বস্তুতে পরস্পর বিপরীত জাতীয় বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয়।

পরিবাহী ও অপরিবাহী (Conductors and non-conductors) : যে সকল পদার্থের ভিতর দিয়া বৈদ্যুতিক চার্জ সহজে চলাচল করিতে পারে তাহাদের বিদ্যুৎ পরিবাহী বলে। যেমন, সমস্ত ধাতু, জল, ভিজা মাটি, প্রাণিদেহ প্রভৃতি। যে সকল পদার্থের ভিতর দিয়া বৈদ্যুতিক চার্জ

সহজে চলাচল করিতে পারে না তাহাদের অপরিবাহী (non-conductors) বা **অন্তরক** বা ইনস্থলেটার (Insulators) বলে। যেমন শুকনা কাঠ, রবার, কাঁচ, রেশম, প্লাস্টিক, ইবনাইট প্রভৃতি। অঙ্গার (carbon) প্রভৃতি কয়েকটি পদার্থকে মাঝামাঝি রকমের পরিবাহী বলা যায়।

ঘর্ষ-বিদ্যুৎ উৎপাদনের যে সমস্ত পরীক্ষার কথা বলা হইয়াছে তাহাতে কাঁচ, প্লাস্টিক প্রভৃতি অপরিবাহী পদার্থের রড লওয়া হইয়াছে। কিন্তু পরিবাহী বস্তুকে ঘষিলেও তাহার মধ্যে চার্জ জন্মায়। পূর্বের তালিকাতেও ধাতুগুলির স্থান আছে। ঐ তালিকা অনুসারে একটি পিতলের রডকে ফ্লানেল দ্বারা ঘষিলে রডটির মধ্যে নেগেটিভ জন্মান উচিত। কিন্তু পরীক্ষা করিলে পিতলের রডে কোনও চার্জের অস্তিত্ব পাওয়া যাইবে না। ঘর্ষণের দ্বারা পিতলের রডে যে চার্জ উৎপন্ন হইবে তাহা পরিবাহী রড ও পরীক্ষাকারী ব্যক্তির দেহের ভিতর দিয়া মাটিতে চলিয়া যাইবে। যদি পিতলের রডটিতে কাঠ বা কাঁচ অন্তরক দ্বারা প্রস্তুত একটি হাতল লাগাইয়া দেওয়া হয়, তাহা হইলে আধানের অস্তিত্ব পাওয়া যায়।

পরিবহণ দ্বারা আহিতকরণঃ কোনও অনাহিত বস্তুতে একটি আহিত বস্তু স্পর্শ করাইলে অনাহিত বস্তুতে আহিত বস্তু হইতে কিছু চার্জ প্রবেশ করে। দুইটি বস্তুই পরিবাহী হইলে অবশ্য আধান ভালভাবে চলাচল করিতে পারে, এবং এইভাবে আহিতকরণ সহজে হয়।

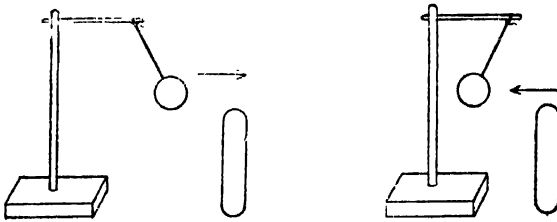
তড়িৎ-বীক্ষণ

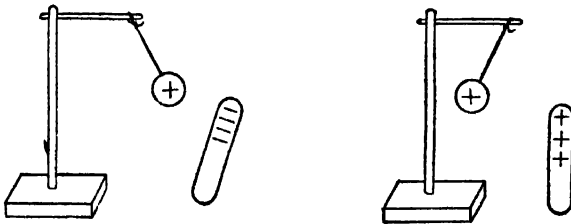
[Electroscope]

যে যন্ত্র দ্বারা কোনও বস্তুতে তড়িতের অস্তিত্ব আছে কি না এবং থাকিলে কি জাতীয় তড়িৎ প্রভৃতি বিষয় পরীক্ষা করা যায়, তাহাকে ইলেকট্রোস্কোপ বলে। দুই প্রকার ইলেকট্রোস্কোপের কথা এখানে আলোচিত হইবে। ইহারা (i) পিথবল ইলেকট্রোস্কোপ (Pithball electroscope) এবং (ii) স্বর্ণপত্র ইলেকট্রোস্কোপ বা গোল্ডলিফ্ ইলেকট্রোস্কোপ (Goldleaf electroscope.)

পিথবল তড়িৎ-বীক্ষণঃ বড়গাছের ভিতরের মজ্জাকে পিথ (Pith) বলে। শুকনা পিথের সাহায্যে ছোট ছোট বল তৈয়ারি করিলে উহারা খুব হালকা এবং মাঝারি রকমের পরিবাহী হয়। এইরকম একটি পিথবল একটি স্ট্যাণ্ড হইতে রেশমের সুতার সাহায্যে ঝুলাইয়া দিলেই পিথবল ইলেক-

ট্রোস্কোপ প্রস্তুত হয়। ইহার সাহায্যে চার্জের অস্তিত্ব বিচার অর্থাৎ ইহার দ্বারা কোনও বস্তুতে চার্জ আছে কি না, এবং চার্জের প্রকৃতি নির্ণয় অর্থাৎ চার্জ থাকিলে কি জাতীয় চার্জ আছে তাহা পরীক্ষা করা যায়।

একটি বিদ্যুৎগ্রস্ত রডকে পিথবলের কাছে আনিলে বলটি প্রথমে আকৃষ্ট হইবে। কিন্তু রডটিকে স্পর্শ করিবার পর উভয়ের মধ্যে বিকর্ষণের জন্য বলটি দূরে সরিয়া যাইবে। রডটি বিদ্যুৎগ্রস্ত না হইলে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ কিছুই হইবে না।

৫৩ ও ৫৪নং চিত্র : পিথবলের সাহায্যে আকর্ষণ-বিকর্ষণের পরীক্ষা

কোনও বিদ্যুৎগ্রস্ত বস্তুর চার্জের প্রকৃতি নির্ণয় করিতে হইলে অর্থাৎ চার্জ নেগেটিভ বা পজিটিভ পরীক্ষা করিতে হইলে পিথবলটিকে প্রথমে কোনও জানা চার্জের দ্বারা আহিত করিয়া লইতে হইবে। মনে করা যাক, রেশমে ঘষা একটি কাঁচের রড দ্বারা অনাহিত পিথবলটি স্পর্শ করা হইল। ইহাতে কাঁচের রড হইতে নেগেটিভ চার্জ পিথবলে প্রবেশ করিয়া উহাকে আহিত করিবে।

৫৫ ও ৫৬ নং চিত্র : পিথবলের সাহায্যে আধানের প্রকৃতি নির্ণয়

এখন একটি আহিত রডকে পিথবলের কাছে আনিলে যদি আকর্ষণ হয় তাহা হইলে রডের চার্জ পিথবলের চার্জের বিপরীত জাতীয় অর্থাৎ নেগেটিভ। আর যদি রড ও বলের মধ্যে বিকর্ষণ হয় তাহা হইলে রডের চার্জ পিথবলের সমজাতীয় অর্থাৎ পজিটিভ।

স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ বা গোল্ডলিফ ইলেকট্রোস্কোপ (Goldleaf electroscope)

বর্ণনা : ইহা নিম্নলিখিত অংশগুলি দ্বারা গঠিত :

G : একটি কাঁচের বোতল বা জার।

S : বোতলের অপরিবাহী ছিপি।

D : ধাতু নির্মিত চাকতি।

R : ধাতুর রড।

L,L : ধাতুর রডের নীচের প্রান্তে আঁটা দুইটি পাতলা সোনার বা এলুমিনিয়ামের পাত।

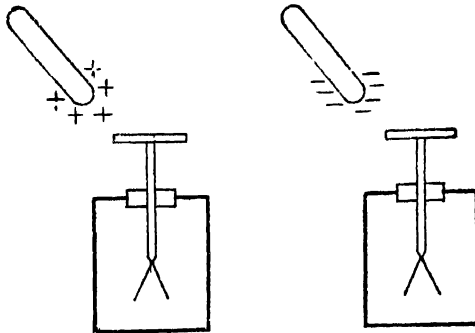
T,T : সোনার পাত দুইটির বরাবর বোতলের ভিতরে আঁটা দুইটি টিনের পাত।

V : বোতলের ভিতরের জলীয় বাষ্প শোষণের জন্য ক্যালসিয়ম ক্লোরাইড রাখা একটি পাত্র।

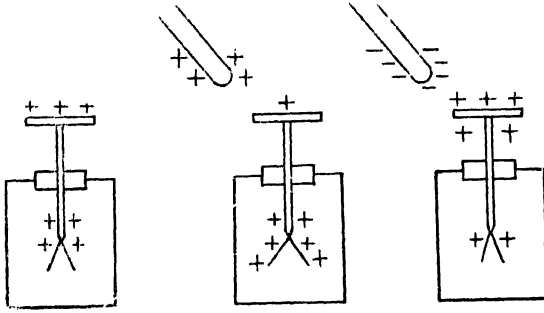
৫৭নং চিত্র : স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র

ব্যাবহার : গোল্ডলিফ ইলেকট্রোস্কোপের দুই প্রকার ব্যবহারের কথা এখানে আলোচিত হইবে : (i) আধানের অস্তিত্ব বিচার (ii) আধানের প্রকৃতি নির্ণয়।

(i) **আধানের অস্তিত্ব বিচার :** পজিটিভ বা নেগেটিভ যে কোনও প্রকারে আহিত বস্তুকে গোল্ডলিফ ইলেকট্রোস্কোপের ধাতব চাকতির কাছে আনিলে পাত দুইটি বিস্ফারিত হয় অর্থাৎ পরস্পর হইতে দূরে সরিয়া যায়। অতএব বিস্ফারণ হইলেই আধানের অস্তিত্ব অনুমান করা যাইবে।

(ii) **আধানের প্রকৃতি নির্ণয় :** কোনও আহিত বস্তুর আধান পজিটিভ

৫৮নং চিত্র : স্বর্ণপত্র বিস্ফারণ দ্বারা আধানের অস্তিত্ব বিচার

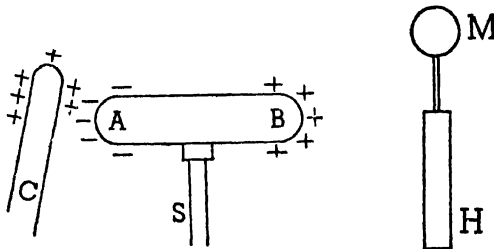
বা নেগেটিভ তাহা জানিতে হইলে পূর্ব হইতে ইলেকট্রোস্কোপকে কোনও জানা

প্রকৃতির চার্জে আহিত করিতে হইবে। চার্জের জন্য ইলেকট্রোস্কোপের পাত দুইটি বিস্ফারিত হইবে। এখন পরীক্ষাধীন আহিত বস্তুটিকে ইলেকট্রোস্কোপের চাকতির কাছে আনিলে যদি পাত দুইটির বিস্ফারণ আরও বেশী হয়,

৫৮ ক নং চিত্র : আধানের প্রকৃতি নির্ণয়

তাহা হইলে বস্তুটির চার্জ ইলেকট্রোস্কোপের চার্জের সহিত সমজাতীয় হইবে। কিন্তু যদি পাত দুইটির বিস্ফারণ কমিয়া যায়, তাহা হইলে বস্তুর চার্জ ও ইলেকট্রোস্কোপের চার্জ বিভিন্ন জাতীয় হইবে। মনে করা যাক, চার্জ পজিটিভ এবং আহিত বস্তু কাছে আনায় পাত দুইটি আরও বিস্ফারিত হইল। এক্ষেত্রে বস্তুর চার্জও পজিটিভ। কিন্তু বিদ্যুৎগ্রস্ত বস্তুটি কাছে আনায় যদি বিস্ফারণ হ্রাস পায়, তাহা হইলে চার্জও নেগেটিভ।

বৈদ্যুতিক আবেশ

[Electrostatic Induction]

কোনও বিদ্যুৎগ্রস্ত বস্তুর কাছে অন্য একটি বস্তু রাখিলে বিদ্যুৎগ্রস্ত বস্তুটির

৫৯নং চিত্র : আবেশে আধানের উৎপত্তি—আধান সংগ্রাহক

চার্জের প্রভাবে অন্য বস্তুটির মধ্যে চার্জের উৎপত্তি হয়। ইহাকে বৈদ্যুতিক আবেশ বা ইনডাক্শান (Induction) বলে। দীর্ঘাকৃতি একটি ধাতব বস্তু

AB-কে অপরিবাহী কাঠামো S-এর উপর রাখা হইয়াছে। উহার A প্রান্তের কাছে পজিটিভ চার্জে আহিত বিদ্যুৎগ্রস্ত একটি বস্তু C-কে আনা হইল। ইহাতে AB-এর দুই প্রান্তে দুই বিপরীত চার্জের উৎপত্তি হইবে। এই চার্জের অস্তিত্ব ও প্রকৃতি একটি **চার্জ সংগ্রাহক** ও গোল্ডলিফ ইলেকট্রোস্কোপের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। একটি ছোট ধাতব চাকতি M-এর সহিত একটি অপরিবাহী হাতল H সংলগ্ন করিলেই চার্জ সংগ্রাহক যন্ত্রটি তৈয়ারী হইবে। হাতল ধরিয়া যন্ত্রটি চাকতিকে A-প্রান্তে স্পর্শ করিলে উহা হইতে সামান্য চার্জ চাকতির মধ্যে প্রবেশ করিবে। এখন চার্জ সংগ্রাহকের চাকতিটি জানা চার্জে আহিত গোল্ড-লিফ ইলেকট্রোস্কোপের চাকতির কাছে আনিয়া A প্রান্তের চার্জের প্রকৃতি জানা যাইবে। তড়িৎ-বীক্ষণ যদি নেগেটিভ চার্জে আহিত থাকে এবং চার্জ সংগ্রাহককে কাছে আনায় পাত দুইটির বিস্ফারণ বৃদ্ধি পায়, তাহা হইলে A-প্রান্তে নেগেটিভ চার্জ আছে বুঝা যাইবে। তারপর চার্জ সংগ্রাহকের চাকতি হাত দিয়া স্পর্শ করিলে উহার মধ্যে অবশিষ্ট চার্জ মাটিতে চলিয়া যাইবে। এখন হাতলের সাহায্যে ধরিয়া উহার চাকতি দ্বারা B প্রান্তে স্পর্শ করিয়া তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে আনিয়া পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে B প্রান্তেও চার্জ আছে এবং তাহা পজিটিভ।

আহিত বস্তু C-কে দূরে সরাইয়া লইলে আর AB বস্তুটির কোথাও চার্জের অস্তিত্ব পাওয়া যাইবে না। সুতরাং A ও B প্রান্তের বিপরীত চার্জ সমপরিমাণ।

যদি আহিত বস্তু C-এর মধ্যে নেগেটিভ আধান লইয়া এই পরীক্ষা করা হয়, তাহা হইলে AB-র A প্রান্তে পজিটিভ ও B-পান্তে নেগেটিভ আধানের অস্তিত্ব বুঝা যাইবে।

এই পরীক্ষায় C-এর চার্জকে **আবেশক আধান** (Inducing charge) এবং AB-র মধ্যে উৎপন্ন চার্জকে আবিষ্ট আধান (Induced charge) বলে। C-কে আবেশক বস্তু ও AB-কে আবিষ্ট বস্তু বলে।

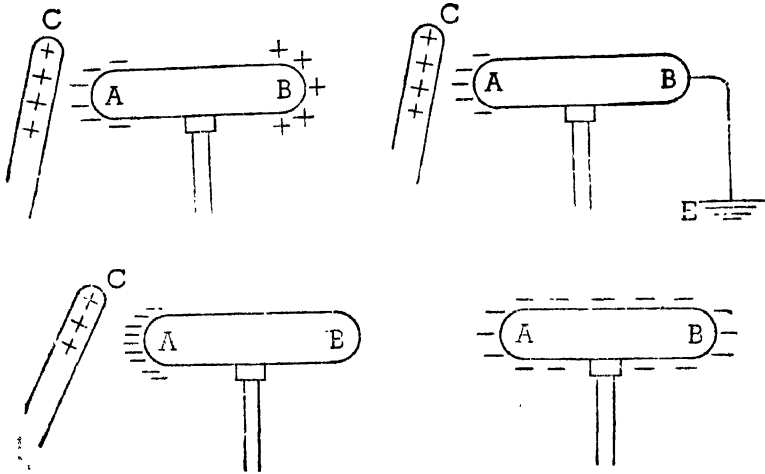
এই পরীক্ষা হইতে বৈদ্যুতিক আবেশ সম্বন্ধে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তগুলি করা যায়:

(1) আবেশের দ্বারা আহিত বস্তুর মধ্যে একসঙ্গে দুই জাতীয় চার্জের উৎপত্তি হয়। যতক্ষণ আবেশক বস্তু থাকে ততক্ষণই আবিষ্ট চার্জও থাকে।

(2) আবিষ্ট বস্তুর নিকট প্রান্তে আবেশক আধানের বিপরীত চার্জ ও দূর প্রান্তে সমজাতীয় চার্জ উৎপন্ন হয়।

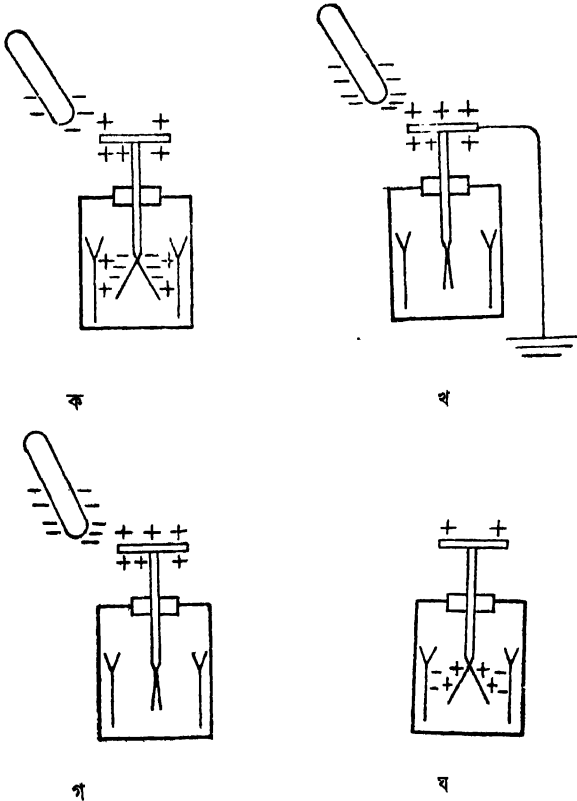
(3) দুই জাতীয় আবিষ্ট চার্জের পরিমাণ ঠিক সমান।

ভূ-সংযোগ (Earth connection) : কোনও আহিত পরিবাহী বস্তুকে মাটির সহিত সংযুক্ত করিলে উহার চার্জ মাটিতে চলিয়া যায়। মাটির সহিত সংযোগ বা ভূ-সংযোগ করিতে হইলে মাটিতে দাঁড়াইয়া বস্তুটি হাত দিয়া স্পর্শ করিলেই হয়। দেহের ভিতর দিয়া চার্জ মাটিতে চলিয়া যায়। অথবা কোনও ধাতব তার দ্বারা মাটির সহিত যোগাযোগ করা যায়। পৃথিবীকে বৈদ্যুতিক চার্জের বিরাট আধার মনে করা যাইতে পারে। চারিদিকের সমস্ত জল যেমন সমুদ্রে যায় বা যাইতে চায় সমস্ত চার্জও তেমনি পৃথিবীর মধ্যে যায় বা যাইতে চায়।

আহিত করার উপায় : কোনও বস্তুকে দুই উপায়ে আহিত করা যায়ঃ **পরিবহণ** (conduction) দ্বারা, ও **আবেশ** দ্বারা। কোনও আহিত বস্তুর সংস্পর্শে আলোচ্য বস্তুটিকে আনিলে উহা পরিবহণ দ্বারা আহিত হয়। রেশমে ঘষা কাঁচের রড দ্বারা পিথবল তড়িৎ- বীক্ষণকে স্পর্শ করিলে পিথবলটি আহিত হইবে।

৬০নং চিত্র : আবেশে বিপরীত আধানের উৎপত্তি

আবেশ দ্বারা বস্তুকে আহিত করা (Charging a body by induction) :

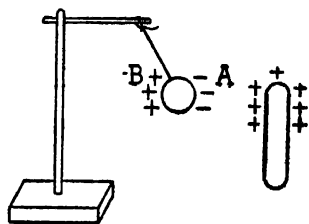
আবেশের দ্বারা কোনও বস্তুতে যে দুই প্রকার চার্জের উৎপত্তি হয়, আবেশকে সরাইয়া লইলে উহারা পরস্পর বিলুপ্ত হয়। সুতরাং আবিষ্ট চার্জ দুইটির একটি চার্জকে স্থানান্তরিত করিলে অপর আবিষ্ট চার্জকে

স্থায়িভাবে পাওয়া যায়। মনে করা যাক্, C আবেশকের দ্বারা AB পরিবাহী বস্তুটি আহিত হইল। এখন মাটিতে দাঁড়াইয়া AB-কে হাত দিয়া স্পর্শ করিলে অথবা অন্য উপায়ে AB-কে মুহূর্তের জন্য ভূ-সংযোগ করিলে উহার B প্রান্তের চার্জ মাটিতে চলিয়া যাইবে। কারণ A প্রান্তের চার্জ আবেশক চার্জের বিপরীত জাতীয় হাওয়ায় উহা আবেশক চার্জের দ্বারা আকৃষ্ট থাকিবে। **ইহাকে বদ্ধ চার্জ** (bound charge) বলে। কিন্তু B প্রান্তের চার্জ ও আবেশক চার্জের মধ্যে বিকর্ষণ হওয়ার জন্য উহা পরিবাহী পথ পাইলে মাটিতে প্রবেশ করিবে। এই প্রকার চার্জকে **মুক্ত চার্জ** (free charge) বলে। স্পর্শ করিলে পরীক্ষকের দেহ পরিবাহী পথের কাজ করে। তৃতীয়তঃ আবেশক C-কে কাছে রাখিয়া AB-র ভূ-সংযোগ বিচ্ছিন্ন করা হইল (প্রকৃতপক্ষে ভূ-সংযোগ মুহূর্তের জন্য করা হয়)। এখন C-কে সরাইয়া

৬১নং চিত্র : তড়িৎ-বীক্ষণকে আবেশ দ্বারা আহিতীকরণ

লইলে A-প্রান্তের বদ্ধ চার্জ AB-র সর্বত্র ছড়াইয়া পড়িবে। এইভাবে আবেশের দ্বারা AB-কে আহিত করা যাইবে।

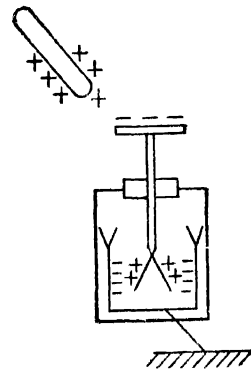
দেখা গেল, আবেশের দ্বারা আবেশক চার্জের বিপরীত চার্জ উৎপন্ন হয়। AB-কে পজিটিভ চার্জে আহিত করিতে হইলে আবেশক C-এর চার্জ নেগেটিভ লইতে হইবে।

স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণকে বা গোল্ডলিফ ইলেকট্রোস্কোপকে আবেশ দ্বারা আহিত করা ঃ তড়িৎ-বীক্ষণকে যে জাতীয় চার্জে আহিত করা প্রয়োজন তাহার বিপরীত চার্জ যুক্ত একটি রড লইতে হইবে। পজিটিভ চার্জে আহিত করিতে হইলে ফ্লানেলে ঘষা একটি ইবনাইট রড অর্থাৎ নেগেটিভ চার্জ যুক্ত রড লওয়া যাইতে পারে। রডটি তড়িৎ-বীক্ষণের চাকতির কাছে ধরিলে চাকতিটি পজিটিভ চার্জে এবং সোনার পাত দুইটি নেগেটিভ চার্জে আহিত হইবে। পজিটিভ চার্জ এখানে বদ্ধ আধান এবং নেগেটিভ চার্জ মুক্ত আধান। বিদ্যুৎগ্রস্ত সোনার পাত দুইটির দ্বারা আহিত হইয়া আবার টিনের পাত দুইটিতে পজিটিভ চার্জ উৎপন্ন হইবে। টিনের পাতে উৎপন্ন নেগেটিভ চার্জ পাতের দূর প্রান্তে থাকিবে অথবা পাত দুইটি ভূ-সংযুক্ত থাকিলে উহা মাটিতে চলিয়া যাইবে। এখন চাকতিটি স্পর্শ করিয়া মুহূর্তের জন্য ভূ-সংযুক্ত করিলে স্বর্ণপত্রের চার্জ মুক্ত চার্জ হওয়ায় মাটিতে প্রবেশ করিবে এবং পাত দুইটি নিমীলিত হইবে। টিনের পাতের চার্জও মুক্ত হওয়ায় মাটিতে চলিয়া যাইবে। আবেশক দণ্ডটি এখন সরাইয়া লইলে চাকতির উপর বদ্ধ পজিটিভ চার্জ চাকতি, ধাতুদণ্ড ও স্বর্ণপত্রে ছড়াইয়া পড়িবে এবং স্বর্ণপত্র দুইটি বিস্ফারিত হইবে। টিনের পাতেও বিপরীত চার্জ উৎপন্ন হইবে। এইরূপে তড়িৎ-বীক্ষণটি পজিটিভ চার্জে আহিত হইবে।

আকর্ষণের আগে আবেশ (Induction precedes attraction) **:** কোনও আহিত রড যখন কাগজের টুকরা বা পিথবলকে আকর্ষণ করে তাহার পূর্বে বৈদ্যুতিক আবেশ হয়। পিথবলের কাছে একটি আহিত রডকে ধরিলে পিথ-বলের যে প্রান্ত (চিত্রে A) আহিত রডটির নিকটে, সেই প্রান্তে রডটির চার্জের বিপরীত চার্জ ও দূর প্রান্তে (চিত্রে B) সমজাতীয় চার্জ আবেশের দ্বারা উৎপন্ন হয়। রডটির চার্জের সহিত নিকটবর্তী A প্রান্তের বিপরীত চার্যের আকর্ষণ দূরবর্তী B প্রান্তের সম জাতীয় চার্জের সহিত বিকর্ষণের তুলনায় প্রবল হওয়ায় রডটি দ্বারা পিথবল আকৃষ্ট হয়।

৬২নং চিত্র : আকর্ষণের আগে আবেশ

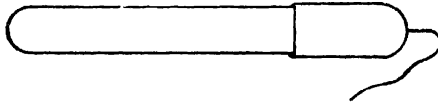
আমরা দেখিয়াছি পিথবলটি এইভাবে আকৃষ্ট হইয়া রডকে স্পর্শ করা মাত্রই উভয়ের মধ্যে বিকর্ষণ হয়। স্পর্শ দ্বারা পিথবলের বিপরীত আধান ও রডটির আধানের কিছু অংশ পরস্পর বিলুপ্ত হয়। তাহার ফলে উভয় বস্তুর সমজাতীয় আধান পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ ব্যবহারের ব্যাখ্যা : অনাহিত স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণের চাকতির কাছে কোনও বিদ্যুৎগ্রস্ত বস্তুকে আনিলে পাতা দুইটির বিস্ফারণ হয়। বিদ্যুৎগ্রস্ত বস্তুটি নিকটে থাকায় তড়িৎ-বীক্ষণের চাকতি ও পাতা দুইটি আবেশের জন্য বিদ্যুৎগ্রস্ত হয়। পাতা দুইটির চার্জ আবার আবেশ দ্বারা টিনের পাতে বিপরীত চার্জ উৎপন্ন করে। পাতা দুইটি ও টিনের পাতের বিপরীত চার্জের মধ্যে পরস্পর আকর্ষণের জন্য পাতা দুইটির বিস্ফারণ হয়। কিন্তু তড়িৎ-বীক্ষণটি যদি প্রথম হইতেই আহিত অবস্থায় থাকে তাহা হইলে আলোচ্য বস্তুটি নিকটে আনিলে পাতা দুইটির বিস্ফারণ বাড়ে অথবা কমে। স্বর্ণপত্রের পূর্বের চার্জ ও বস্তুর চার্জ সমজাতীয় হইলে বিস্ফারণ বাড়ে এবং বিপরীত জাতীয় হইলে বিস্ফারণ কমে।

মনে করা যাক্, একটি গোল্ডলিফ্ ইলেকট্রোস্কোপের চাকতির কাছে পজিটিভ চার্জে আহিত একটি বস্তুকে ধরা হইল। আবেশ দ্বারা ইলেকট্রোস্কোপের চাকতিতে নেগেটিভ চার্জ এবং পাতা দুইটিতে পজিটিভ চার্জ উৎপন্ন হইল। আবার পাতা দুইটির পজিটিভ চার্জ টিনের পাতের নিকট প্রান্তে নেগেটিভ চার্জ উৎপন্ন করিল। টিনের পাত ভূ-সংযুক্ত হইলে উহাতে উৎপন্ন পজিটিভ চার্জ মাটিতে চলিয়া যাইবে, ভূ-সংযুক্ত না হইলে উহা পাতের দূরপ্রান্তে থাকিবে। এখন পাতা দুইটির পজিটিভ চার্জের পরস্পর বিকর্ষণ এবং উহাদের পজিটিভ চার্জ ও টিনের পাতের নেগেটিভ চার্জের মধ্যে আকর্ষণের জন্য পাতা দুইটি বিস্ফারিত হইবে।

৬৩নং চিত্র : আধানের জন্য স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণের বিস্ফারণ

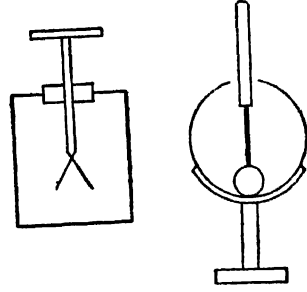
দ্বিতীয়ত, মনে করা যাক, ইলেকট্রোস্কোপটি পূর্ব হইতে পজিটিভ অথবা নেগেটিভ বিদ্যুতে আহিত ছিল। উহার চাকতির কাছে আহিত বস্তুটি আনা হইল। আহিত বস্তুটির চার্জ যদি ইলেকট্রোস্কোপের পূর্বের চার্জের সমজাতীয় হয় তাহা হইলে উহার কিছু অংশ বিকর্ষণের জন্য চাকতি হইতে পাতা দুইটির

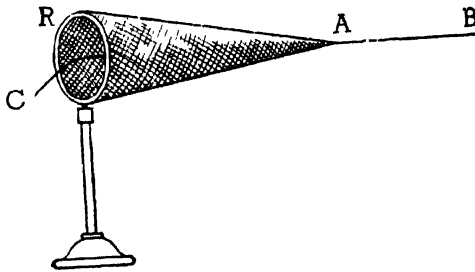
মধ্যে চলিয়া যাইবে। ইহাতে পাতা দুইটির চার্জের পরিমাণ বৃদ্ধি পাওয়ায় উহাদের বিস্ফারণও বৃদ্ধি পাইবে। কিন্তু যদি ইলেকট্রোস্কোপের পূর্বের চার্জ বস্তুর চার্জের বিপরীত জাতীয় হয়, তাহা হইলে আকর্ষণের জন্য চাকতির কাছে পাতা দুইটির চার্জের কিছু অংশ চলিয়া আসিবে এবং পাতা দুইটির বিস্ফারণ হ্রাস পাইবে।

ঘর্ষণের দ্বারা বিপরীত আধানের উৎপত্তি: কাঁচ, প্লাস্টিক প্রভৃতির দণ্ডকে রেশম প্রভৃতি দ্বারা ঘষিলে ঘর্ষিত রড ও ঘর্ষক কাপড়ের টুকরা উভয়ের মধ্যেই পরস্পর বিপরীত আধানের উৎপত্তি হয়। একটি পরীক্ষা

৬৪নং চিত্র : বিপরীত আধানের উৎপত্তি

দ্বারা ইহার সত্যতা প্রমাণ করা যায়। একটি কাঁচের রডের একপ্রান্তে একটি রেশমের টুপি পরাইয়া দেওয়া হয়। টুপিটির সহিত একটি সিল্কের সুতা বাঁধা থাকে। রডটিকে টুপি দ্বারা কিছুক্ষণ ঘষিয়া টুপি পরানো অবস্থায় কোনও গোল্ডলিফ্ ইলেকট্রোস্কোপের কাছে ধরা হয়। ইহাতে পাতা দুইটির কোনও বিস্ফারণ হয় না। তারপর সুতার সাহায্যে রড ও টুপিকে বিচ্ছিন্ন করা হয়। এখন পূর্বে পজেটিভ চার্জে আহিত কোনও ইলেকট্রোস্কোপের কাছে কেবল কাঁচের রডটি লইয়া গেলে পাতা দুইটির বিস্ফারণ বৃদ্ধি পায় এবং সুতায় ধরিয়া কেবল টুপিটি লইয়া গেলে বিস্ফারণ হ্রাস পায় সুতরাং কাঁচের রড নেগেটিভ চার্জ এবং রেশমের টুপি পজেটিভ চার্জে আহিত। উহাদের বিপরীত আধান ঠিক সমান বলিয়া একসঙ্গে উহাদের তড়িৎ-বীক্ষণের উপর কোনও ক্রিয়া লক্ষ্য করা যায় না। সুতরাং **ঘর্ষণ দ্বারা বিপরীত জাতীয় চার্জ সমপরিমাণে উৎপন্ন হয়।**

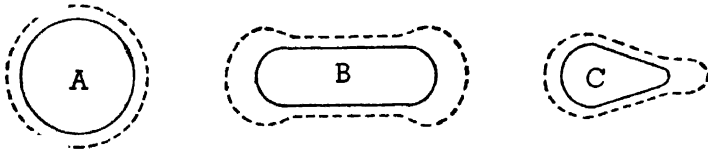
পরিবাহী বস্তুতে চার্জের অবস্থান (seat of charge on a conductor): পরিবাহী বস্তুতে চার্জ বস্তুর বাহিরের পৃষ্ঠে বা তলে অবস্থিত থাকে। একটি সহজ পরীক্ষা দ্বারা ইহা প্রমাণ করা যায়। একটি ছোট ছিদ্রযুক্ত ফাঁপা ধাতুনির্মিত গোলককে অন্তরিত (insulated) স্ট্যাণ্ডের উপর রাখা হইল। একটি চার্জ সংগ্রাহকের (proof plane) সাহায্যে কোনও বিদ্যুৎগ্রস্ত বস্তু হইতে কিছু চার্জ লইয়া উহাকে গোলকটির ছিদ্রপথে প্রবেশ করাইয়া গোলকের

ভিতরের তল স্পর্শ করা হইল। ইহাতে চার্জ সংগ্রাহকের অধিকাংশ চার্জ গোলকের মধ্যে চলিয়া যাইবে। এখন চার্জ সংগ্রাহকের ধাতব অংশ হাত দিয়া স্পর্শ করিলে উহার অবশিষ্ট চার্জ মাটিতে চলিয়া যাইবে। এইবার চার্জ সংগ্রাহক দ্বারা গোলকটির ভিতরে আবার স্পর্শ করিয়া উহাকে ইলেকট্রো-স্কোপের কাছে আনিলে কোনও বিস্ফারণ হইবে না কিন্তু গোলকের বাহিরের তলে যে কোনও স্থানে স্পর্শ করার পর চার্জ সংগ্রাহকটি ইলেকট্রো-স্কোপের কাছে আনিলে পাত দুইটির বিস্ফারণ হইবে। সুতরাং দেখা গেল চার্জ পরিবাহী বস্তুর বাহিরের তলে থাকে।

৬৫নং চিত্র : পরিবাহী বস্তুতে আধানের অবস্থান

ফ্যারাডের পতঙ্গ-জাল পরীক্ষা (Faraday's butterfly-net experiment) : রেশমের কাপড় দ্বারা শঙ্কুর (cone) আকৃতি একটি চোঙ প্রস্তুত করিয়া উহার খোলা প্রান্ত একটি আংটির (৬৬নং চিত্রে R) সহিত সেলাই করিয়া দেওয়া হইবে। শঙ্কুর শীর্ষের (৬৬নং চিত্রে A) সহিত দুইগাছি সুতা দুইদিকে বাঁধা থাকিবে যাহাতে ঐ সুতা টানিয়া শঙ্কুর ভিতরের তল বাহিরে আনা যায়। ইহাকে ফ্যারাডের পতঙ্গ-জাল বলে। কোনও

৬৬নং চিত্র : প্রজাপতি-জাল পরীক্ষা

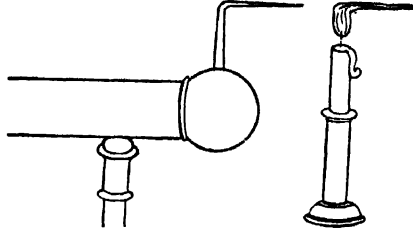
বিদ্যুৎগ্রস্ত বস্তুর স্পর্শ দ্বারা প্রজাপতি-জালটি বিদ্যুৎগ্রস্ত করা হইবে। এখন চার্জ সংগ্রাহক দ্বারা জালের উপর চার্জের অবস্থান পরীক্ষা করা যাইবে। সংগ্রাহকটিকে জালের বাহিরে স্পর্শ করিয়া ইলেকট্রোস্কোপের কাছে আনিলে পাত দুইটির বিস্ফারণ হইবে। কিন্তু জালের ভিতরের তল স্পর্শ করিয়া

সংগ্রাহকটি ইলেকট্রোস্কোপের কাছে আনিলে কোনও বিস্ফারণ হইবে না। এইবার সুতার C প্রান্ত ধরিয়া টানিলে জালের বাহিরের তল ভিতরে ও ভিতরের তল বাহিরে আসিবে। এই অবস্থায় মনে হইতে পারে পূর্বের চার্জযুক্ত বাহিরের তল ভিতরে গিয়াছে, সুতরাং চার্জও এখন ভিতরের তলে অবস্থিত আছে। কিন্তু সংগ্রাহকের সাহায্যে পরীক্ষা করিলে এইবারও চার্জকে বাহিরের তলে অবস্থিত দেখা যাইবে। সুতরাং চার্জ সর্বদা বাহিরের পৃষ্ঠে থাকে।

পরিবাহী বস্তুর উপর চার্জের বণ্টন (Distribution of charge on a conductor): পরিবাহী বস্তুর চার্জ উহার উপরের তলে ছড়াইয়া থাকে কিন্তু উপরিতলে চার্জের বণ্টন তলের বক্রতার উপর নির্ভর করে। তলের বক্রতা সর্বত্র সমান হইলে চার্জও সর্বত্র সমভাবে ছড়াইয়া থাকে অর্থাৎ প্রতি এককতলে চার্জের পরিমাণ সর্বত্র সমান হয়। কিন্তু যদি তলের বক্রতা অসমান হয়, তাহা হইলে **বক্রতা যেখানে যত বেশী চার্জও সেইখানে**

৬৭নং চিত্র: পরিবাহী বস্তুর উপর আধানের বণ্টন

ততবেশী সঞ্চিত হয়। A, B ও C তিনটি পরিবাহী বস্তু। ইহাদের উপর চার্জের বণ্টন কি রকম হইবে তাহা ভগ্নরেখার দ্বারা দেখানো হইয়াছে। ভগ্নরেখা ও বস্তুর সীমারেখার ব্যবধানের সহিত চার্জের ঘনত্ব সমানুপাতী ধরিতে হইবে। A বস্তুটি গোলকাকার হওয়ায় উহার বক্রতা সর্বত্র সমান, সুতরাং চার্জের ঘনত্ব সর্বত্র সমান। B ও C-এর উপর বক্রতা যেখানে যত বেশী, চার্জের ঘনত্বও সেখানে তত বেশী দেখা যাইতেছে। একটি চার্জ সংগ্রাহক দ্বারা এই বস্তুগুলির বিভিন্ন স্থান স্পর্শ করিলে সেই স্থানের চার্জের ঘনত্বের অনুপাতে সংগ্রাহকে চার্জ প্রবেশ করিবে, ইহাই নিয়ম। আবার আহিত সংগ্রাহক দ্বারা একটি অনাহিত স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণকে স্পর্শ করিলে সংগ্রাহকে যতবেশী চার্জ থাকিবে পাতা দুইটির বিস্ফারণও ততবেশী হইবে। এইরূপে চার্জ বণ্টন সম্বন্ধীয় নিয়মের সত্যতা পরীক্ষা করা যায়।

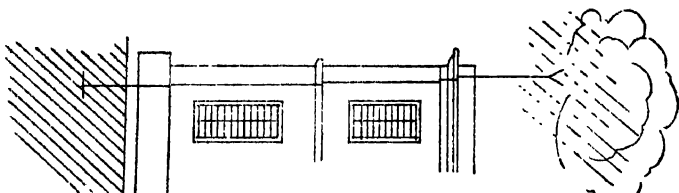
পরিবাহী বস্তুর উপর কোনও সূচালো বিন্দু বা সূচীমুখ থাকিলে সূচীমুখের কাছে তলের বক্রতা খুব বেশী হওয়ায় সূচীমুখে অত্যধিক পরিমাণে চার্জ সঞ্চিত হইবে।

ইহার ফলে নিকটবর্তী বায়ুকণা ও ধূলিকণা এবং সূচীমুখের মধ্যে আকর্ষণের জন্ম ইহারা সূচীমুখ স্পর্শ করিবে এবং সূচীমুখ হইতে সমজাতীয় চার্জে আহিত হইবে। সমজাতীয় চার্জের মধ্যে বিকর্ষণের জন্য কণাগুলি বেগে নিক্ষিপ্ত হইবে। এইভাবে সূচীমুখ হইতে চার্জ ক্ষরিত হইবে। ইহাকে **সূচীমুখের ক্ষরণ** (Discharging

৬৮নং চিত্র : সূচীমুখ হইতে হইতে আধানের ক্ষরণ

action of points) বলে। সূচী মুখের কাছে একটি মোমবাতির শিখা ধরিলে বায়ু ও ধূলিকণার এই প্রবাহের জন্য শিখাটি বাঁকিয়া যাইবে।

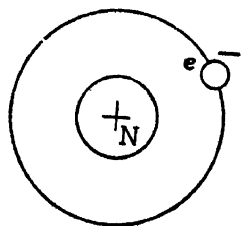
বজ্রপাত : মেঘের জলকণাসমূহ নানাকারণে বিদ্যুৎগ্রস্ত হয়। পাশাপাশি অবস্থিত ও পরস্পর বিপরীত আধানে আহিত দুইখানি মেঘের মধ্যে বিদ্যুৎ-ক্ষরণ (electrical discharge) হইলে আকাশে প্রচণ্ড শব্দ ও চোখ ঝলসানো আলোর উৎপত্তি হয়। আবার কখনও যদি প্রবলভাবে আহিত কোনও মেঘের খণ্ড খুব নীচে নামিয়া আসে তাহা হইলে মাটি, ঘরবাড়ি, গাছ পালা প্রভৃতি আবেশ দ্বারা বৈদ্যুতিক চার্জে বিদ্যুৎগ্রস্ত হয়। মুক্ত সমজাতীর চার্জ মাটিতে প্রবেশ করে। মেঘের চার্জ ও আবিষ্ট বিপরীত চার্জের মধ্যে আকর্ষণের ফলে যখন বিদ্যুৎ-ক্ষরণ (electric discharge) হয়, তখন আকাশ হইতে মাটির মধ্যে বিপুল পরিমাণে বিদ্যুৎ প্রবেশ করে এবং প্রচণ্ড শব্দ ও আলোক উৎপন্ন হয়। ইহাকে বজ্রপাত বলা হয়। বজ্রপাতের ফলে ঘরবাড়ি ক্ষতিগ্রস্ত, জীবননাশ প্রভৃতি হইতে পারে।

বজ্র-নিরোধক (Lightning arrestor) **:** বজ্রাঘাত হইতে ঘরবাড়ি রক্ষা করার জন্য ইহা ব্যবহৃত হয়। একটি মোটা ধাতব তার বা পাতকে বাড়ির ছাদের উপর চারিদিকে ঘুরাইয়া উহার এক প্রান্ত বাড়ির দেওয়াল বাহিয়া নীচে নামাইয়া দেওয়া হয়। নীচের প্রান্ত একটি বড় ধাতু পাতের সহিত সংলগ্ন করিয়া মাটির নীচে জলসিক্ত স্তরে প্রোথিত করা হয়। ছাদের উপরে পাতটির সহিত কয়েকটি ধাতুদণ্ড ঊর্ধ্বাধভাবে রাখা হয় এবং উহাদের উপরের প্রান্তে কয়েকটি করিয়া সূচীমুখ থাকে।

বজ্রনিরোধকযুক্ত বাড়ির উপরে নিম্ন আকাশে কোনও মেঘে বৈদ্যুতিক চার্জের সঞ্চার হইলে আবেশের দ্বারা উৎপন্ন সমজাতীয় মুক্ত চার্জ ধাতুপাতের ভিতর

৬৯নং চিত্র : বজ্র-নিরোধক

দিয়া মাটিতে প্রবেশ করিবে। কিন্তু অসম বদ্ধ চার্জ স্থচীমুখগুলির ভিতর দিয়া ক্ষরিত হইবে এবং মেঘের বিপরীত আধানের সহিত সংযোগে উভয় আধানের অবলুপ্তি ঘটিবে। এইভাবে বাড়ির উপরের মেঘে নিরাপত্তা সীমার বেশী পরিমাণে বিদ্যুৎ-সঞ্চার হইবে না এবং বাড়ির উপর বজ্রপাত হইবে না।

পারমাণবিক বিদ্যুৎ
[Atomic electricity]

পরমাণু (Atom) গঠন সম্বন্ধে অনুসন্ধান করিয়া জানা গিয়াছে প্রত্যেক পরমাণুর মধ্যে ধনাত্মক বা পজিটিভ ও ঋণাত্মক বা নেগেটিভ দুই রকমের বিদ্যুৎ রহিয়াছে। কেন্দ্রে একটি ভারী নিউক্লিয়াস (Nucleus) এবং উহার চারিদিকে এক বা একাধিক **ইলেকট্রন** (Electron) লইয়া প্রত্যেক পরমাণু গঠিত। নিউক্লিয়াসের চারিদিকে প্রত্যেক ইলেকট্রন নির্দিষ্ট কক্ষপথে ঘুরিতেছে। ইলেকট্রনগুলির ভর সব সমান। নিউক্লিয়াসও ইলেকট্রনের তুলনায় খুব ভারী। সর্বাপেক্ষা হালকা হাইড্রোজেনের নিউক্লিয়াসও ইলেকট্রনের তুলনায় প্রায় দুই হাজার গুণ ভারী। প্রত্যেক পরমাণুর নিউক্লিয়াসে যে পরিমাণ পজিটিভ চার্জ আছে উহার চারিদিকে পরিভ্রমণশীল ইলেকট্রনগুলির মোট নেগেটিভ চার্জের পরিমাণ তাহার সহিত ঠিক সমান। সেইজন্য প্রত্যেক পরমাণুকে সাধারণত বৈদ্যুতিক চার্জ বিহীন (Neutral) বলিয়া মনে হয়। নিউক্লিয়াস ভারী বলিয়া পরমাণু হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া চলাচল করিতে পারে

৭০নং চিত্র : পরমাণুর মধ্যে আধানের অবস্থান

না, কিন্তু হালকা ইলেকট্রনগুলি অনায়াসে চলাচল করিতে পারে। যে সকল পরমাণুতে ইলেকট্রনের সংখ্যা বেশী তাহাদের নিউক্লিয়াস হইতে দূরে অবস্থিত

ইলেকট্রনগুলি সহজে পরমাণু হইতে বিচ্ছিন্ন হইতে পারে। ইহাদের মুক্ত ইলেকট্রন (Free electrons) বলে।

কোনও পরমাণুর মধ্যে এক বা একাধিক ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হইলে ঐ পরমাণুর মধ্যে নেগেটিভ চার্জের ঘাটতি (deficit) হয় এবং পজিটিভ চার্জ উদ্বৃত্ত হওয়ায় পরমাণুটি পজিটিভ চার্জে আহিত হয়। আবার ঐ বিচ্ছিন্ন ইলেকট্রনগুলি অন্য কোনও উদাসীন পরমাণুতে সংলগ্ন হইলে সেই পরমাণু নেগেটিভ চার্জে আহিত হয়। এই প্রকার পজিটিভ বা নেগেটিভ চার্জে আহিত পরমাণুকে **আয়ন** (ion) বলে।

কোনও বস্তুকে ঘর্ষণ বা আবেশ দ্বারা আহিত করাকে ইলেকট্রন চলাচলের ফল স্বরূপ মনে করা যায়। কাঁচ ও রেশম ঘষিলে কাঁচের কতকগুলি ইলেকট্রন রেশমের মধ্যে চলিয়া যায়। ইহাতে কাঁচের মধ্যে নেগেটিভ চার্জের ঘাটতি হওয়ায় কাঁচ পজিটিভ চার্জে আহিত হয় এবং রেশমে ইলেকট্রন প্রবেশ করায় রেশম নেগেটিভ চার্জে আহিত হয়।

পজিটিভ চার্জে আহিত একটি বস্তুর কাছে কোনও অনাহিত বস্তু রাখিলে উহার মুক্ত ইলেকট্রনগুলি পজিটিভ চার্জের দ্বারা আকৃষ্ট হইয়া উহার দিকে ভিড় করে। তাহার ফলে ঐ বস্তুর নিকট প্রান্তে নেগেটিভ চার্জ ও দূরপ্রান্তে পজিটিভ চার্জের অস্তিত্ব প্রকাশ পায়। আবেশক বস্তুটি নেগেটিভ চার্জে আহিত হইলে আবিষ্ট বস্তুর মুক্ত ইলেক্ট্রনগুলি বিকর্ষণের জন্য দূর প্রান্তে চলিয়া যায়। ইহাতে আবিষ্ট বস্তুর নিকট প্রান্তে পজিটিভ চার্জ ও দূর প্রান্তে নেগেটিভ চার্জের অস্তিত্ব প্রকাশ পায়।

ইলেকট্রনের চার্জ অপেক্ষা কম পরিমাণ চার্জের অস্তিত্ব এ পর্যন্ত কোথাও জানা যায় নাই। এইজন্য ইলেকট্রনের চার্জকে নেগেটিভ চার্জের একক হিসাবে মনে করা যায় (ইলেকট্রনের নেগেটিভ চার্জের পরিমাণ মাত্র $4{\cdot}80 \times 10^{-10}$ electrostatic unit).

পদার্থের পরিবাহিতা বা অপরিবাহিতার কারণও উহার ইলেকট্রনগুলির চলাচল করিবার ক্ষমতার উপর নির্ভরশীল। ধাতু প্রভৃতি পদার্থের কতকগুলি ইলেকট্রনের সচলতা খুব বেশী ; সেইজন্য ইহারা পরিবাহী। যে সকল পদার্থের ইলেকট্রনগুলির সচলতা কম, তাহারা অপরিবাহী।

সারাংশ

ঘর্ষবিদ্যুৎ : কাঁচ, ইবনাইট প্রভৃতিকে রেশম, ফ্লানেল ইত্যাদি দ্বারা ঘষিলে রডগুলিতে বৈদ্যুতিক চার্জের উৎপত্তি হয়। বৈদ্যুতিক চার্জ দুই প্রকারের—পজিটিভ চার্জ ও নেগেটিভ চার্জ।

ঘর্ষণের দ্বারা ঘর্ষিত রড ও ঘর্ষক কাপড়ের টুকরা উভয়ের মধ্যেই বিপরীত চার্জ সমপরিমাণে জন্মায়। সমজাতীয় চার্জের মধ্যে বিকর্ষণ ও **অসমজাতীয় চার্জের মধ্যে আকর্ষণ** হয়।

যে সকল বস্তুর মধ্যে বিদ্যুৎ সহজে চলাচল করে তাহাদের **পরিবাহী** (conductors) এবং যাহাদের মধ্যে বিদ্যুৎ সহজে চলাচল করিতে পারে না তাহাদের **অপরিবাহী** (nonconductors) বা অন্তরক (insulators) বলে।

তড়িৎ-বীক্ষণ (Electroscope) : বৈদ্যুতিক চার্জের অস্তিত্ব বিচার, প্রকৃতি নির্ণয় প্রভৃতি উদ্দেশ্যে তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র বা ইলেকট্রোস্কোপ ব্যবহৃত হয়। ইহারা সাধারণত দুই রকম : (i) **পিথবল** (Pith ball) তড়িৎ-বীক্ষণ এবং (ii) **স্বর্ণপত্র** তড়িৎ-বীক্ষণ বা গোল্ডলিফ্ ইলেকট্রোস্কোপ (Gold leaf Electroscope).

বৈদ্যুতিক আবেশ (Electrostatic Induction) : আহিত বস্তুর কাছে কোনও অন্তরিত পরিবাহী বস্তু রাখিলে ঐ বস্তুর মধ্যে নিকট প্রান্তে আহিত বস্তুর বিপরীত চার্জ এবং দূরপ্রান্তে সমজাতীয় চার্জের উৎপত্তি হয়। ইহাকে বৈদ্যুতিক আবেশ বলে। আবেশক বস্তু সরাইয়া লইলে দুইটি বিপরীত আবিষ্ট চার্জ পরস্পর অবলুপ্ত হয়। সুতরাং উহাদের পরিমাণ সমান। আবেশক বস্তুর সান্নিধ্যে আবিষ্ট বস্তুর ভূ-সংযোগ ঘটিলে বিপরীত প্রান্তের মুক্ত চার্জ মাটিতে চলিয়া যায়। এইভাবে আবেশ দ্বারা বস্তুকে আহিত করা যায়।

পরিবাহী বস্তুর চার্জ উহার বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে। উপরিতলের বা পৃষ্ঠের বক্রতা যেখানে যত বেশী হয় সেখানে চার্জের ঘনত্বও তত বেশী হয়। পরিবাহী বস্তুর উপরিতলের কোথাও সূচীমুখ থাকিলে সেখানে সূচীমুখ দিয়া বাহিরে চার্জের ক্ষরণ হয়। ইহাকে **সূচীমুখের ক্ষরণ** বলে। সূচীমুখের ক্ষরণ নীতির প্রয়োগে নির্মিত **বজ্রনিরোধক দণ্ড** ব্যবহার করিলে বাড়িতে বজ্র-পাতের আশঙ্কা কম হয়।

প্রত্যেক পরমাণু কেন্দ্রে ভারী পজিটিভ চার্জ বিশিষ্ট নিউক্লিয়াস ও উহার চারিদিকে নির্দিষ্ট কক্ষে ভ্রমণশীল এক বা একাধিক নেগেটিভ চার্জ বিশিষ্ট ইলেকট্রন লইয়া গঠিত। প্রত্যেক পরমাণুর নিউক্লিয়াসের পজিটিভ চার্জ ও ইলেকট্রনের (বা ইলেকট্রনগুলির) নেগেটিভ চার্জ ঠিক সমান হওয়ায় পরমাণুটি চার্জবিহীন (Neutral) হয়। পরমাণু হইতে ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হইলে পরমাণু পজিটিভ চার্জে আহিত হয় এবং ইলেকট্রন অন্য পরমাণুতে সংলগ্ন হইলে তাহা নেগেটিভ

চার্জে আহিত হয়। ইলেকট্রনের আধান $4{\cdot}80 \times 10^{-10}$ e. s. u. ইহাকে চার্জের একক হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

অনুশীলনী

1. *Give examples to show how electricity is produced by friction. How can you prove that there are two kinds of electricity ?*

2. *Describe a gold leaf electroscope and explain its action. What are its uses ?*

3. *How can you use a gold leaf electroscope to detect charge and to examine its nature ?*

4. *How can you prove that two opposite charges in equal quantities are produced by friction and also by induction ?*

5. *Explain with suitable experiments what you mean by electrostatic induction. How can you charge a gold leaf electroscope by induction ?*

6. *How is charge distributed on a conductor ? Explain with suitable examples. What do you mean by the discharging action of points ?*

7. *Explain with a simple diagram the action of a lightning conductor ?*

8. *What are electrons ? How can you explain frictional electricity, electrostatic induction and electrical conductivity by electrons ?*

সপ্তম অধ্যায়

তড়িৎ বলক্ষেত্র ও বৈদ্যুতিক বিভব

তড়িৎ বলক্ষেত্র ও কুলম্বের সূত্র (Electrostatic Field and Coulomb's Law)ঃ চুম্বক মেরুর চারিদিকে যেমন চৌম্বক বলক্ষেত্র থাকে, বৈদ্যুতিক চার্জের চারিদিকেই সেইরকম তড়িৎ বলক্ষেত্র থাকে। এই বলক্ষেত্রের মধ্যে কোনও আহিত বস্তু থাকিলে উহার উপর বল ক্রিয়া করে। দুইটি চার্জ বা আহিত বস্তুর একটি অপরটির বলক্ষেত্রে অবস্থান করে বলিয়া এই বল ক্রিয়া করে মনে করা যাইতে পারে।

নিম্নলিখিত কুলম্বের সূত্র হইতে দুইটি আহিত বস্তু বা আধানের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের পরিমাণ জানা যায়:

দুইটি চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল ঐ দুইটি চার্জের পরিমাণের গুণফলের সহিত সমানুপাতী এবং উহাদের দূরত্বের বর্গের ব্যস্ত সমানুপাতী।

q_1, q_2 দুইটি চার্জের পরিমাণ, r উহাদের দূরত্ব এবং F উহাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলকে সূচিত করিলে:

$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$; সুতরাং $F = K. \frac{q_1 q_2}{r^2}$, যখন K ধ্রুবক।

এখন যদি স্থির-বিদ্যুতের একক চার্জের (Electrostatic Unit) এইরূপ সংজ্ঞানির্দেশ করা যায় যে **দুইটি একক চার্জ এক সে. মি. দূরে অবস্থিত হইলে উহাদের মধ্যে এক ডাইন বল ক্রিয়াশীল হয়,** তাহা হইলে,

$q_1 = q_2 = 1$ এবং $r = 1$ হইলে, $F = 1$ হইবে।

সুতরাং $1 = \frac{K.1.1.}{1^2}$; $\therefore K = 1$.

$\therefore$ কুলম্বের সূত্রের পরবর্তিত রূপ: $F = \frac{q_1 q_2}{r}$

স্থির-বিদ্যুতের চার্জের এই একককে চার্জের ই, এস, ইউ একক (Electrostatic Unit of Charge বা E.S.U. of charge) বলা হয়। ইহাকে চার্জের সি, জি, এস এককও বলে।

সি. জি এস এককের মান ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ছোট বলিয়া ইহার 3×10^9 গুণ পরিমাণ বৈদ্যুতিক চার্জকে ব্যবহারিক একক ধরা হইয়াছে। ইহাকে কুলম্ব (Coulomb)বলা হয়।

কুলম্ব (Coulomb) $= 3 \times 10^9$ ই, এস, ই চার্জ।

উদাহরণ: 6 ও 8 সি. জি. এস. এককের দুইটি চার্জ 2 সে. মি. দূরে অবস্থিত হইলে উহাদের মধ্যে কি পরিমাণ বল ক্রিয়া করিবে ?

এখানে $q_1 = 6$ সি. জি. এস. একক

$q_2 = 8$ সি. জি. এস. একক

এবং $r = 2$ সে. মি,

সুতরাং, $F = \frac{q^1 q^2}{r^2} = \frac{6 \times 8}{2^2}$ ডাইন $= 12$ ডাইন।

তড়িৎ বলক্ষেত্রের প্রাবল্য (Intensity of an electric field)

কোনও বৈদ্যুতিক চার্জের বলক্ষেত্রের কোনও বিন্দুতে একক পজিটিভ চার্জ (unit positive charge) রাখিলে একক চার্জটির উপর যে বল ক্রিয়া করে তাহাকে তড়িৎ বলক্ষেত্রের প্রাবল্য (intensity) বলে।

যদি q সি. জি. এস একক পরিমাণ পজিটিভ চার্জ হইতে r দূরত্বে একক পজিটিভ চার্জ রাখা হয় তাহা হইলে কুলম্বের সূত্র অনুসারে একক চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বলের পরিমাণ

$$F = \frac{q \cdot 1}{r^2} = \frac{q}{r^2}$$

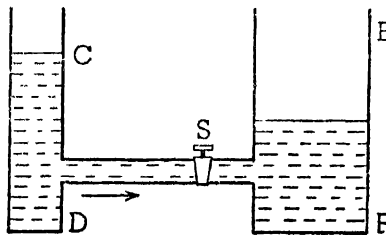
বৈদ্যুতিক বিভব (Electrostatic Potential) **:** বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্রে কোনও চার্জ থাকিলে তাহা স্থানান্তরিত হয় বা হইতে চেষ্টা করে। কোনও বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্রে A ও B দুইটি বিন্দু। একটি পজিটিভ চার্জ A হইতে B বিন্দুতে, না B হইতে A বিন্দুতে যাইবে তাহা ঐ বিন্দু দুইটির একটি বিশেষ বৈদ্যুতিক ধর্ম বা অবস্থার উপর নির্ভর করিবে। এই বিশেষ ধর্ম বা অবস্থাকে বৈদ্যুতিক ইলেকট্রিক পোটেনসিয়াল বলে। পজিটিভ চার্জ উচ্চ বিভব হইতে নিম্ন বিভবের দিকে যায়; সুতরাং A বিন্দুর বিভব উচ্চতর হইলে পজিটিভ চার্জ A হইতে B-এর দিকে যাইবে। নেগেটিভ চার্জ ইহার বিপরীত দিকে অর্থাৎ B হইতে A বিন্দুর দিকে যাইবে।

কোনও পজিটিভ চার্জের চারিদিকে যে বলক্ষেত্র উৎপন্ন হয় তাহাকে পজিটিভ ক্ষেত্র (positive field) বলে। পজিটিভ ক্ষেত্রের প্রত্যেক বিন্দুর

পোটেনসিয়াল পজিটিভ এবং ঐ ক্ষেত্রে উৎপাদক চার্জ হইতে যত দূরে যাওয়া যায়, পোটেনসিয়াল তত কমিতে থাকে। নেগেটিভ চার্জ দ্বারা উৎপন্ন ক্ষেত্রে বা নেগেটিভ ক্ষেত্রে (negative field) প্রত্যেক বিন্দুর পোটেনসিয়াল নেগেটিভ এবং চার্জ হইতে যত দূরে যাওয়া যায় বিভব তত বৃদ্ধি পায় ধরা যাইতে পারে।

দুইটি আহিত বস্তু P ও Q-কে পরিবাহী তার দ্বারা সংযুক্ত করিলে উহাদের মধ্যে কোনটি হইতে চার্জ অপরটিতে প্রবেশ করিবে তাহাও উহাদের পোটেন-সিয়ালের উপর নির্ভর করিবে। যদি P বস্তুর বিভব Q বস্তুটি হইতে বেশী হয় তাহা হইলে P হইতে Q-এর দিকে পজিটিভ চার্জ প্রবাহিত হইবে। ইহা দ্বারা P বস্তুর পোটেনসিয়াল হ্রাস ও Q বস্তুর পোটেনসিয়াল বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে এবং ঠিক যখন উভয় বস্তুর পোটেনসিয়াল সমান হইবে তখন বিদ্যুৎ চলাচল বন্ধ হইবে।

প্রমাণ করা যায় যে, q পজিটিভ চার্জের বলক্ষেত্রে r দূরত্বে অবস্থিত যে কোনও বিন্দুর পোটেনসিয়াল বা বিভবের পরিমাণ $+\frac{q}{r}$ এবং চার্জটি পজি-টিভ না হইয়া নেগেটিভ হইলে পোটেনসিয়াল বা বিভবের পরিমাণ হইবে $-\frac{q}{r}$.

একটি সাদৃশ্যের দ্বারা বিষয়টির ব্যাখ্যা করা যাইতে পারে। CD ও EF দুইটি ঊর্ধ্বাধ নল একটি অনুভূমিক নলদ্বারা সংযুক্ত আছে। S স্টপককটি বন্ধ রাখিয়া CD ও EF অংশে জল ঢালা হইল। এখন স্টপককটি খুলিয়া দিলে যে নলে জলের উচ্চতা বেশী সেই নল হইতে অপর নলে জল প্রবাহিত হইবে

৭১ নং চিত্র : জলের প্রবাহ ও বিদ্যুৎ-প্রবাহের তুলনা

যতক্ষণ উভয় নলে জলের উচ্চতা সমান না হয়। জলের এই প্রবাহ কোনও নলের জলের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না, কেবল উচ্চতার উপর নির্ভর করে। CD নলটি সরু এবং উহাতে জলের পরিমাণ কম। কিন্তু উচ্চতা বেশী

বলিয়া CD নল হইতে EF নলে জল প্রবাহিত হইবে। এই উদাহরণে জলের উচ্চতাকে ইলেকট্রিক পোটেনসিয়াল বা বৈদ্যুতিক বিভবের সহিত তুলনা করা যায়।

সারাংশ

q_1 ও q_2 দুইটি আধান r দূরত্বে অবস্থিত হইলে উহাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল $F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$.

স্থির-বিদ্যুতের একক আধান (Electrostatic Unit of charge) : এক সে. মি. দূরে অবস্থিত দুইটি সমান পরিমাণ চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল এক ডাইন হইলে উহাদের প্রত্যেক চার্জকে স্থির বিদ্যুতের একক চার্জ বলে।

বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্রে দুইটি বিন্দুর মধ্যে উচ্চ পোটেনসিয়াল বা বিভবে অবস্থিত স্থান হইতে নিম্ন পোটেনসিয়াল বিভবে অবস্থিত স্থানে পজেটিভ চার্জ চলাচল করে। দুইটি আহিত বস্তুকে পরিবাহিতার দ্বারা সংযুক্ত করিলেও যে বস্তুর বিভব উচ্চতর তাহা হইতে অন্য বস্তুতে পজেটিভ চার্জ প্রবাহিত হইবে। নেগেটিভ চার্জ নিম্নবিভব হইতে উচ্চবিভবের দিকে যাইবে।

অনুশীলনী

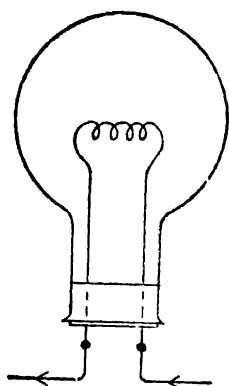
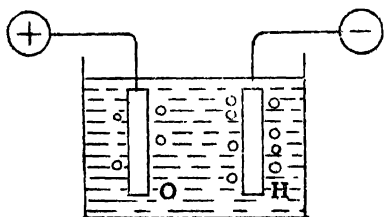
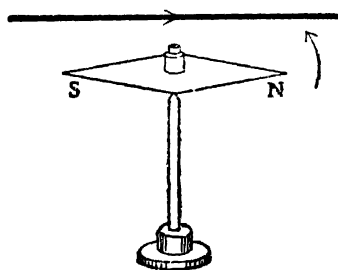
1. *What do you understand by electrostatic potential ? Explain with examples.*

2. *State Coulomb's law of force between charges and hence define e. s. u. of charge. What force will act between two charges 8 and 9 e. s. u. respectively at a distance 6 c.m. from each other.*

অষ্টম অধ্যায়

চল-বিদ্যুৎ

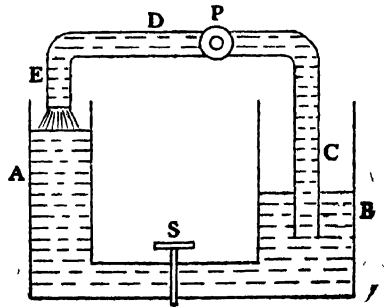
[Current Electricity]

সুইচ টিপিলে পরিবাহী তারের ভিতর দিয়া বিদ্যুৎপ্রবাহ চলার জন্য বৈদ্যুতিক আলো জ্বলিয়া উঠে বা পাখা চলে। কোনও তারের ভিতর দিয়া বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিতেছে কি না তাহা কয়েকটি ক্রিয়া দ্বারা লক্ষ্য করা যায়, যেমন **তাপ উৎপাদন, রাসায়নিক ক্রিয়া** এবং **চৌম্বক ক্রিয়া**। বৈদ্যুতিক আলোর ভিতরে যে সরু তার বা ফিলামেণ্ট (filament) থাকে বিদ্যুৎপ্রবাহের জন্য তাহা গরম হইলে সাদা আলো বাহির হয়। একটি কাঁচের পাত্রে কিছু জল লইয়া তাহার মধ্যে পজিটিভ ও নেগেটিভ তারের দুইটি প্রান্ত ডুবাইয়া বিদ্যুৎপ্রবাহ চালাইলে উভয় প্রান্তে বুদ্বুদের আকারে গ্যাস বাহির হয়। বিদ্যুৎপ্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া দ্বারা জল উহার দুইটি মৌলিক উপাদান হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন গ্যাসে বিশ্লিষ্ট হয়। আবার একটি বৈদ্যুতিক তারের পাশে একটি চুম্বক শলাকা রাখিয়া বিদ্যুৎপ্রবাহ চালাইলে চুম্বক শলাকাটি ঘুরিয়া যায়। বৈদ্যুতিক উচ্চ বিভব-যুক্ত তার স্পর্শ করিলে শরীরে যে শক (shock) বা আঘাত লাগে তাহাও বৈদ্যুতিক প্রবাহের জন্য।

৭২নং চিত্র : তাপ ও আলোক উৎপাদন

৭৩নং চিত্র : রাসায়নিক ক্রিয়া

৭৪নং চিত্র : চৌম্বক ক্রিয়া

স্থির-বিদ্যুৎ ক্ষণিকের জন্য একটি আহিত বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে প্রবাহিত হইতে পারে। A ও B দুইটি বস্তুর একটি বস্তু অথবা উভয়ই বিদ্যুৎগ্রস্ত হইতে

পারে। উহাদের পরিবাহী তারের দ্বারা সংযুক্ত করিলে তারের ভিতর দিয়া ক্ষণিকের জন্য এই প্রকার বিদ্যুৎপ্রবাহ চলে। ইহাকে বিদ্যুৎ-ক্ষরণ (electric discharge) বলে। বিদ্যুৎ-ক্ষরণের ক্ষেত্রে যে বস্তুটি উচ্চ বিভব (potential) যুক্ত তাহা হইতে নিম্ন বিভব যুক্ত বস্তুতে বিদ্যুৎ ক্ষরণ হয়। কিন্তু ইহাতে মুহূর্তের মধ্যে দুইটি বস্তুর বিভব সমান হয় এবং ক্ষরণও বন্ধ হইয়া যায়। এইরূপ বিদ্যুৎ-প্রবাহকে চল-বিদ্যুৎ বলা যায় না। বিদ্যুৎপ্রবাহ একটানা দীর্ঘকাল স্থায়ী হইলে তাহাকে চল-বিদ্যুৎ বলা হয়। A হইতে B বস্তুতে বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিলে A-এর বিভব কমিয়া B-এর বিভব বৃদ্ধি পায়। যদি কোনও উপায়ে A ও B-এর বিভবের পার্থক্যকে বজায় রাখা যায় তাহা হইলে বিদ্যুৎপ্রবাহও স্থায়ী হইবে।

৭৫নং চিত্র : বিদ্যুৎ-ক্ষরণ

একটি উদাহরণের কথা বিবেচনা করা যাক। চোঙের আকৃতি দুইটি পাত্র A ও B একটি সরু নল দ্বারা সংযুক্ত। সরু নলটি স্টপকক S দ্বারা বন্ধ করিয়া উভয় পাত্রে জল ঢালা হইল যাহাতে A পাত্রের জলের উচ্চতা বেশী হয়। এখন স্টপকক খুলিয়া দিলে A পাত্র হইতে B পাত্রে জল প্রবাহিত হইতে আরম্ভ হইবে। কিন্তু উভয় পাত্রে জলের উচ্চতা সমান হওয়ামাত্র জলের প্রবাহ বন্ধ হইবে। মনে করা যাক, CDE একটি নল এবং P একটি পাম্প। পাম্পটির কাজ করিবার হার যদি এমন হয় যে, A হইতে B পাত্রে যে হারে জল প্রবাহিত হইতেছে B হইতে A পাত্রে CDE নল দ্বারা সেই হারে জল উঠিতেছে তাহা হইলে A ও B পাত্রের উচ্চতার ব্যবধান সমান থাকিবে। ইহাতে নীচের নল দ্বারা জলের প্রবাহও সমান হারে বর্তমান থাকিবে। এই উদাহরণে দেখা গেল, জলের প্রবাহকে স্থায়ী করিরার জন্য পাম্পের দ্বারা কাজ করা বা শক্তি ব্যয় করা দরকার হইতেছে।

৭৬নং চিত্র : বৈদ্যুতিক বিভব স্থায়ীকরণের উদাহরণ

দুইটি বস্তুর মধ্যে বিদ্যুৎপ্রবাহকে স্থায়ী করিতে হইলেও উহাদের বৈদ্যুতিক বিভবকে স্থায়ী রাখা প্রয়োজন এবং এইজন্য শক্তি ব্যয় করা প্রয়োজন। অন্য

শক্তির সাহায্যে বৈদ্যুতিক বিভব স্থায়ী করা অর্থাৎ অন্য শক্তিকে বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা সাধারণত দুই উপায়ে হয়:

রাসায়নিক উপায়: ইহা বৈদ্যুতিক সেল বা **ভোল্টীয় সেলে** (voltaic cell) প্রয়োগ করা হয়। বিখ্যাত ইতালীয় বিজ্ঞানী ভোল্টা (Volta) এই জাতীয় সেল প্রথম উদ্ভাবন করেন।

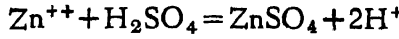
যান্ত্রিক উপায় (বিদ্যুৎ চৌম্বক-প্রণালী): এই প্রণালীতে পদার্থের বিদ্যুৎ-চৌম্বকধর্মের প্রয়োগে যান্ত্রিক শক্তিকে বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়। ডাইনামো (Dynamo) দ্বারা এই উপায়ে বিদ্যুৎপ্রবাহ উৎপন্ন হয়। এক্ষণে ভোল্টীয় সেলের কথা আলোচিত হইবে।

সাধারণ ভোল্টীয় সেল
(Simple voltaic cell)

একটি কাঁচের পাত্রে জলমিশ্রিত সালফিউরিক এসিড লইয়া উহার মধ্যে তামা ও দস্তার দুইটি পাত ডুবাইলে সাধারণ ভোল্টীয় সেল প্রস্তুত হয়। তামা ও দস্তার পাত দুইটি তামার তার দ্বারা সংযুক্ত করিলে তারে বিদ্যুৎপ্রবাহ চলে। একটি চুম্বক শলাকাকে ঐ তারের কাছে রাখিলে শলাকা ঘুরিয়া যাইবে এবং বিদ্যুৎ-প্রবাহের অস্তিত্ব প্রমাণ করিবে।

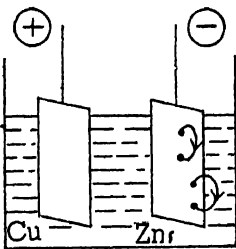
সেলের ক্রিয়া: দস্তার অণুগুলি পজিটিভ চার্জে আহিত অবস্থায় অর্থাৎ দস্তার আয়নের (Zn^{++}) আকারে দস্তার পাত হইতে বাহির হইয়া সালফিউরিক এসিডের সহিত রাসায়নিক ক্রিয়া করে। পজিটিভ চার্জ লইয়া আয়নগুলি বাহির হইয়া আসায় দস্তার পাতটি নেগেটিভ চার্জে আহিত হয়। দস্তার আয়ন ও এসিডের মধ্যে আয়নিক ক্রিয়ার ফলে হাইড্রোজেন আয়ন (H^+) উৎপন্ন হয় এবং উহারা তামার পাতের দিকে চলিয়া তামার পাতে পজিটিভ চার্জ বর্জন করিয়া চার্জ-বিহীন হাইড্রোজেন পরমাণুতে পরিণত হয়। দুইটি করিয়া হাইড্রোজেন পরমাণু মিলিত হইয়া হাইড্রোজেন অণু উৎপন্ন হয় এবং উহারা তামার পাতের গায়ে সংলগ্ন থাকে। পজিটিভ চার্জ গ্রহণের ফলে তামার পাতের পজিটিভ পোটেনসিয়াল বা বিভব ক্রমশঃ বাড়িতে থাকে এবং দস্তার পাত হইতে পজিটিভ চার্জ বাহির হইয়া যাওয়ার জন্য দস্তার পাতের নেগেটিভ বিভবও বাড়িতে থাকে। পাত দুইটি বাহিরে তার দ্বারা যুক্ত না থাকিলে একটা নির্দিষ্ট বিভবপার্থক্য উৎপন্ন হইলেই সেলের রাসায়নিক ক্রিয়া বন্ধ হইয়া যায়। কিন্তু পাত দুইটি সেলের বাহিরে তামার তার দ্বারা যুক্ত থাকিলে তামার পাত হইতে দস্তার পাতে পজিটিভ চার্জ

প্রবাহিত হইয়া উভয় পাতের বৈদ্যুতিক বিভবকে সমতায় আনার চেষ্টা করে। ইহাতে আবার সেলের ভিতরে রাসায়নিক ক্রিয়া আরম্ভ হয়। এইভাবে সেলের ক্রিয়া চলিতে থাকে। সেলের ক্রিয়াকে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় :

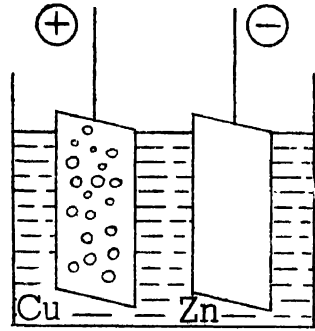
$$Zn^{++} + H_2SO_4 = ZnSO_4 + 2H^+$$

দেখা যাইতেছে, এই ধরণের সেলে রাসায়নিক শক্তি বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে সালফিউরিক এসিড নিঃশেষিত হইলে সেলের কাজ বন্ধ হইয়া যায়। তখন আবার এসিড ঢালিয়া দিলে সেলের কাজ চলে। দস্তার পাত ক্ষয় হইয়া গেলে নূতন দস্তার পাত লইতে হয়।

তামার ও দস্তার পাতকে সেলের দুইটি ইলেকট্রোড্‌স (Electrodes) বা মেরু (poles) বলে। এখানে তামার পাত পজিটিভ মেরু (positive pole) এবং দস্তার পাত নেগেটিভ মেরু (negative pole)। সেলে ব্যবহৃত যে রাসায়নিক পদার্থের ক্রিয়ার ফলে বিদ্যুৎপ্রবাহ চলে তাহাকে তড়িৎ-উত্তেজক তরল (exciting liquid) বলে। এক্ষেত্রে সালফিউরিক এসিড তড়িৎ-উত্তেজক তরল।

সাধারণ ভোল্টীয় সেলের ত্রুটি : সাধারণ ভোল্টীয় সেলের ত্রুটি দুইটি : স্থানীয় ক্রিয়া (local action) ও ছদন (polarisation)।

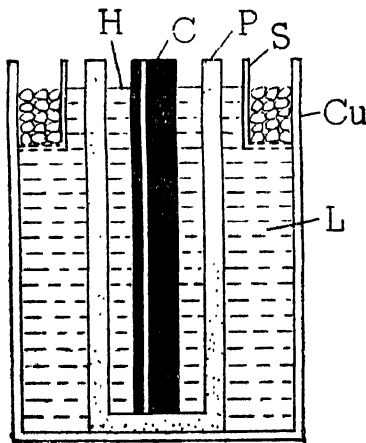
স্থানীয় ক্রিয়া : সাধারণ দস্তার পাতে লোহা, আর্সেনিক, কার্বন, সীসা প্রভৃতি মিশ্রিত থাকে। এই রকম খাদের যে কোনও একটি কনা উচ্চ বিভবযুক্ত তামার পাতের মত কাজ করে এবং কিছু হাইড্রোজেন আয়ন তাহাদের চার্জ ঐ কণাকে দেয়। তাহার ফলে সেলের ভিতরে দস্তার পাতের ভিতর দিয়াই ছোট একটি স্থানীয় বিদ্যুৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়। এই রকম অনেকগুলি স্থানীয় প্রবাহ সৃষ্টি হওয়ায় কিছু রাসায়নিক শক্তি নষ্ট হয়। কারণ বাহিরের তারে বিদ্যুৎপ্রবাহ না চলিলে তাহা কোনও কাজে লাগে না।

৭৭নং চিত্র : স্থানীয় ক্রিয়া

প্রতিবিধান : খাদ মিশ্রিত সাধারণ দস্তার উপর দস্তা ও পারদের মিশ্র ধাতু বা পারদ-সংকরের (amalgam) আস্তরণ দিলে স্থানীয় ক্রিয়া বন্ধ হয়। পারদ-সংকরের সহিত খাদগুলি মিশিবে না কিন্তু নীচের দস্তার কণা অনায়াসে মিশিবে। এইরূপে দস্তার কণাগুলি বাহিরের আস্তরণে আসায় এসিডের সংস্পর্শে উহাদের ক্রিয়া চলিবে কিন্তু খাদগুলি আস্তরণের নীচে ঢাকা থাকিবে।

ছদন বা পোলারিজেশন্ (Polarisation) : তামার পাতের উপর হাইড্রোজেন গ্যাসের বুদ্বুদগুলি জমা হইতে ক্রমশ একটি হইতে হাইড্রোজেনের স্তরে পাতটি ঢাকা পড়িয়া যায়। তখন নূতন হাইড্রোজেন আয়ন তামার পাতের সংস্পর্শে আসায় বাধা পায়; ইহার ফলে কিছুক্ষণের মধ্যে সেলের ক্রিয়া বন্ধ হইয়া যায়। গ্যাসের আচ্ছাদানের দ্বারা এই ক্রিয়া হয় বলিয়া ইহাকে ছদন বলে।

১৮নং চিত্র : ছদন (Polarisation)

পোলারিজেশনের ফলে ভোল্টীয় সেলের মধ্যে বিপরীতমুখী একটি ই. এম. এফ.-এর উৎপত্তি হয়। ইহার ফলেও বিদ্যুৎ প্রবাহের মান ক্রমশ কমিয়া যায়। ইহাকে ব্যাক্ ই. এম. এফ. (back e. m. f.) বলে।

প্রতিবিধান : তামার পাতটি মাঝে মাঝে তুলিয়া লইয়া হাইড্রোজেন গ্যাসের বুদ্বুদগুলি মুছিয়া লইলে পোলারিজেশনের প্রতিকার হয়। কিন্তু ইহা সুবিধাজনক নয়। **রাসায়নিক উপায়ে** পোলারিজেশন নিবারণ করাই প্রকৃষ্ট উপায়। এই উপায়ে প্রতিবিহিত কয়েকটি সেলের বিষয় এখানে আলোচিত হইবে।

ডানিয়েল সেল (Daniel Cell) : সিলিণ্ডার আকৃতি একটি তামার পাত্রের (Cu) মধ্যে কপার সালফেট বা তুঁতের সম্পৃক্ত দ্রবণ থাকে। উহার ভিতরে একটি বহুরন্ধ্র (porous) বিশিষ্ট চীনামাটির পাত্রের (P) মধ্যে সালফিউরিক এসিড লওয়া হয়। এসিডের মধ্যে একটি দস্তার রড (C চিহ্নিত) আংশিক ডুবাইয়া রাখা হয়। স্থানীয় ক্রিয়া নিবারণের জন্য রডটিতে দস্তা ও পারদের পারদ-সংকর (amalgam) দ্বারা একটি আস্তরণ দেওয়া থাকে। তামার পাত্রের ভিতর সচ্ছিদ্র শেল্ফ S-এ তুঁতের কয়েকটি ডেলা রাখিয়া দেওয়া হয়।

১৯নং চিত্র : ডানিয়েল সেল

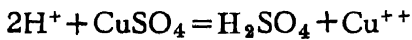
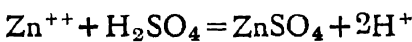
ক্রিয়া : দস্তার আয়নিক অনু (Zn^{++}) দস্তার পাত হইতে বাহির

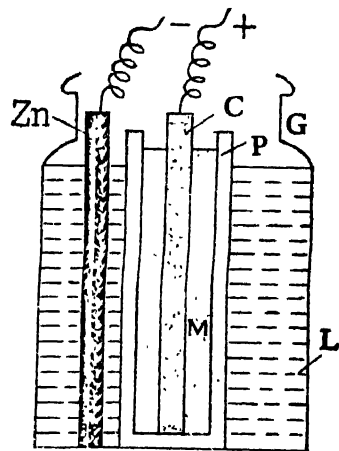
হইয়া এসিডের সহিত ক্রিয়া করে। দস্তার পাত হইতে দস্তার আয়নগুলি পজিটিভ চার্জ লইয়া বাহির হওয়ায় দস্তার পাতটি নেগেটিভ চার্জে আহিত হয়। দস্তা ও এসিডের মধ্যে ক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন হইড্রোজেন আয়নগুলি চীনামাটির পাত্র P-এর সূক্ষ্ম ছিদ্রগুলি দিয়া অনায়াসে বাহিরে চলিয়া যায় এবং তুঁতের দ্রবণের সংস্পর্শে আসে। হাইড্রোজেন আয়ন কপার-সালফেট হইতে তামার আয়নকে বিচ্ছিন্ন করে এবং নিজে উহার স্থান গ্রহণ করিয়া সালফিউরিক এসিড উৎপন্ন করে। তামার আয়ন পজিটিভ চার্জ বহন করিয়া তামার পাত্রের দিকে যায় এবং পজিটিভ চার্জ তামার পাত্রে বর্জন করিয়া তামার নিরপেক্ষ পরমাণুতে পরিণত হয়। নিরপেক্ষ তামার পরমাণুগুলি তামার পাতের সহিত সংলগ্ন হইতে থাকে। তামার পাত্রও ক্রমশ পজিটিভ চার্জে আহিত হইতে থাকে।

তামা ও দস্তার পাতের সহিত সংলগ্ন স্ক্রু দুইটিকে তার দ্বারা সংযুক্ত করিলে ঐ তারের ভিতর দিয়া তামা হইতে দস্তায় বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিতে থাকে। রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে তুঁতের দ্রবণের গাঢ়তা হ্রাস পাইলে শেল্‌ফে রাখা তুঁতে গলিয়া গাঢ়তা বজায় রাখে।

তামার পাত্রের গায়ে তামার কণা জমা হইলে তাহা দ্বারা পোলারিজেশন হয়। তুঁতের দ্রবণ এক্ষেত্রে পোলারিজেশন নিবারক (depolariser) হিসাবে কাজ করে।

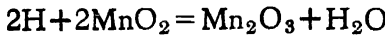
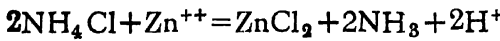
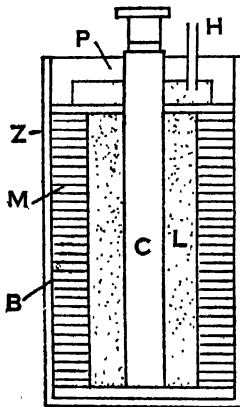
ডানিয়েল সেলের রাসায়নিক ক্রিয়া নিম্নলিখিত সমীকরণগুলি দ্বারা প্রকাশ করা যায়:

$$Zn^{++} + H_2SO_4 = ZnSO_4 + 2H^+$$
$$2H^+ + CuSO_4 = H_2SO_4 + Cu^{++}$$

০নং চিত্র: লেক্‌লান্‌স সেল

লেক্‌লান্‌স সেল (Leclanche Cell): একটি কাঁচের জার G এর মধ্যে এমোনিয়াম ক্লোরাইড (NH_4Cl) দ্রবণ লওয়া হয়। দস্তা ও পারদের পারদ-সংকর (amalgam) দ্বারা আস্তরণ দেওয়া একটি দস্তার রড Zn ঐ দ্রবণে আংশিক নিমজ্জিত থাকে। P একটি বহুরন্ধ্র (Porous) চীনামাটির পাত্র। উহার মধ্যে কার্বনের একটি রড C-কে মাঝামাঝি অবস্থানে রাখিয়া চারিদিকে ম্যাঙ্গানীজ ডাই-অক্সাইড (MnO_2) ও কার্বণের গুঁড়ার মিশ্রণ দ্বারা পাত্রটি ঠাসিয়া ভর্তি করা হয়।

ক্রিয়া : আয়নিত দস্তা অণু দস্তার পাত হইতে বাহির হইয়া এমোনিয়াম ক্লোরাইডের সহিত আয়নিক ক্রিয়া করে। দস্তার রডটি নেগেটিভ চার্জে আহিত হয়। এবং জিঙ্ক ক্লোরাইড ($ZnCl_2$), এমোনিয়া গ্যাস ও হাইড্রোজেন আয়ন উৎপন্ন হয়। হাইড্রোজেন আয়ন রন্ধ্রপথে চীনামাটির পাত্রে প্রবেশ করে এবং ম্যাঙ্গানীজ ডাই-অক্সাইডের সহিত ক্রিয়ার ফলে জল ও ম্যাঙ্গানীজ অক্সাইড (Mn_2O_3) উৎপন্ন হয়। হাইড্রোজেন আয়নের পজিটিভ চার্জ কার্বন রডে সংযুক্ত হয়। সুতরাং ক্রমশ কার্বন রডে পজিটিভ চার্জ এবং জিঙ্ক রডে নেগেটিভ চার্জ জমা হইতে থাকে এবং রড দুইটি তার দ্বারা সংযুক্ত না থাকিলে উভয় রডের বিভব পার্থক্য একটা নির্দিষ্ট সীমায় পৌঁছিলে রাসায়নিক ক্রিয়া বন্ধ হয়। কিন্তু যদি রড দুইটি সেলের বাহিরে পরিবাহী তার দ্বারা সংযুক্ত থাকে তাহা হইলে ঐ তারের ভিতর দিয়া কার্বন রড হইতে জিঙ্ক রডে বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিতে থাকে এবং সেলের রাসায়নিক ক্রিয়াও চলিতে থাকে।

এই সেলে ম্যাঙ্গানীজ ডাই-অক্সাইড পোলারিজেশন নিবারকের কাজ করে এবং কার্বনের গুঁড়া চীনামাটির পাত্রের ভিতরের বিদ্যুৎ পরিবাহিতা বৃদ্ধি করে। এই সেলের রাসায়নিক ক্রিয়া নিম্নলিখিত সমীকরণগুলি দ্বারা প্রকাশ করা যায় :

$$2NH_4Cl+Zn^{++}=ZnCl_2+2NH_3+2H^+$$

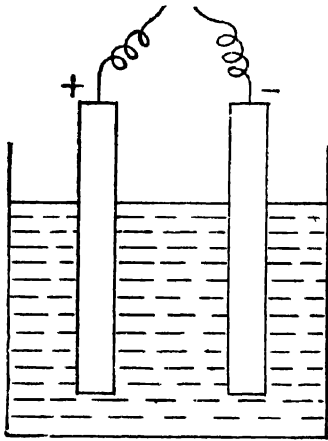
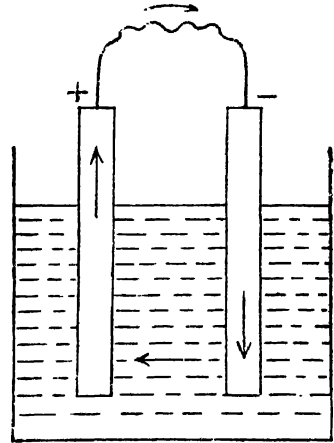
$$2H+2MnO_2=Mn_2O_3+H_2O$$

এই সেলের পোলারিজেশান নিবারণ অত্যন্ত ধীরে ধীরে হয়। সেইজন্য কিছুক্ষণ ব্যবহারের পরই ইহার বিদ্যুৎপ্রবাহ কমিয়া যায়। আবার কিছুক্ষণ বিদ্যুৎপ্রবাহ বন্ধ থাকিলে সেল পূর্ণ কার্যকারিতা লাভ করে। এইজন্য এই সেল ইলেকট্রিক ঘণ্টা, টেলিফোন, টেলিগ্রাফ্ প্রভৃতিতে (যে সকল ক্ষেত্রে মাঝে মাঝে প্রবাহ চলে সেইরূপক্ষেত্রে) ব্যবহারের উপযোগী।

৮১ নং চিত্র : ড্রাই সেল

ড্রাই সেল (Dry Cell) : ইহা লেক্লান্স সেলেরই একটি রূপান্তর। ইহার মধ্যে কোনও তরল থাকে না। দস্তার পাতে তৈয়ারী একটি চোঙাকৃতি পাত্রের (Z) ভিতরের দেওয়াল ব্লটিং কাগজ (B) দিয়া মুড়িয়া পাত্রের ভিতর এমোনিয়াম ক্লোরাইড, করাতের গুঁড়া,

প্লাস্টার অব প্যারিস প্রভৃতির মিশ্রণে প্রস্তুত একটি লেই (paste) লওয়া হয়। পাত্রের মাঝখানে একটুকরা কাপড়ের মধ্যে ম্যাঙ্গানীজ ডাই-অক্সাইড ও কার্বনের গুঁড়ার মিশ্রণ লইয়া তাহার ভিতরে একটি কার্বন রড (C) রাখা হয়। কাপড়ের টুকরাটি বহুরন্ধ্র পাত্রের কাজ করে। কার্বন রডটি পজিটিভ পোল (positive pole) বা ধন-মেরু এবং দস্তার পাত্রটি নেগেটিভ পোল বা ঋণ-মেরুর কাজ করে। সেলটিকে চারিপাশে মোটা কাগজে মুড়িয়া রাখা হয়। কার্বন ও দস্তার পাত সেলের বাহিরে তার দ্বারা সংযুক্ত করিলে তারের ভিতর কার্বন হইতে দস্তার বিদ্যুৎপ্রবাহ চলে। H নলটির দ্বারা এমোনিয়া গ্যাস বাহির হইয়া যায়।

ক্রিয়া : সেলের ক্রিয়া ঠিক সাধারণ লেক্‌লান্‌স সেলের অনুরূপ।

ব্যবহার : এই সেল বৈদ্যুতিক টর্চ, বৈদ্যুতিক ঘণ্টা, টেলিফোন, টেলিগ্রাফ প্রভৃতিতে ব্যবহার করা যায়।

বিদ্যুৎ-বর্তনী (Electrical circuit): কোনও পরিবাহী পথে বিদ্যুৎপ্রবাহ একটানা চলিতে পারিলে ঐ পথকে বিদ্যুৎ-বর্তনী বা ইলেকট্রিক সার্কিট বলে। বিদ্যুৎ-বর্তনীতে বৈদ্যুতিক চার্জ কোনও বিন্দু হইতে যাত্রা

৮২ নং চিত্র : মুক্ত-বর্তনী

৮৩ নং চিত্র : বদ্ধ-বর্তনী

আরম্ভ করিয়া আবার সেই বিন্দুতে ফিরিয়া আসে। পরিবাহী তার দ্বারা একটি সেলের দুইটি মেরু সংযুক্ত করিলে সেলের নেগেটিভ মেরু হইতে পজিটিভ চার্জ বাহির হইয়া সেলের ভিতরে পজিটিভ মেরুর দিকে যায় এবং সেলের বাহিরে পজিটিভ মেরু হইতে নেগেটিভ মেরুতে ফিরিয়া যায়। বর্তনীর কোনও স্থানে ছেদ থাকিলে তাহাকে **মুক্ত-বর্তনী** (Open circuit) বলে। মুক্ত-বর্তনীর

সহিত পার্থক্য করিবার জন্য অনেক সময় বিদ্যুৎ-বর্তনীকে **বদ্ধ-বর্তনী** (closed circuit) বলা হয়।

কোনও বিদ্যুৎ-বর্তনীতে উচ্চ বিভব হইতে নিম্ন বিভবের দিকে পজিটিভ চার্জ প্রবাহিত হয় বলিয়া সাধারণ ধারণা প্রচলিত। পজিটিভ চার্জ প্রবাহিত হওয়ার অর্থ পরমাণুর নিউক্লিয়াসের প্রবাহ, কারণ নিউক্লিয়াসই পজিটিভ চার্জের আধার বলিয়া জানা গিয়াছে। কিন্তু নিউক্লিয়াস ভারী বলিয়া উহার প্রবাহ সম্ভব নয়। নেগেটিভ চার্জ বিশিষ্ট ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের তুলনায় অনেক হালকা এবং ইলেকট্রনের প্রবাহই সম্ভাব্য ঘটনা। এইজন্য প্রকৃতপক্ষে নিম্ন বিভব হইতে উচ্চ বিভবের দিকে ইলেকট্রন প্রবাহ চলে। অবশ্য দুই প্রকার প্রবাহের ফল একই।

পোটেনসিয়াল পার্থক্য বা বিভব-পার্থক্য (Potential Difference বা P. D.) : পূর্বে বলা হইয়াছে দুইটি বিন্দুর বা দুইটি বস্তুর মধ্যে বিভবের পার্থক্য থাকিলে উচ্চ বিভব হইতে নিম্ন বিভবের দিকে পজিটিভ চার্জ প্রবাহিত হয়। বিভব পার্থক্য যত বেশী হয় বিদ্যুৎপ্রবাহও তত প্রবল হয়। উচ্চ লেভেল হইতে নিম্ন লেভেলে তরলের প্রবাহের ক্ষেত্রে লেভেলের পার্থক্য বেশী হইলে তরলের প্রবাহও যেরূপ বেশী হয় ইহাও সেইরূপ। বিভব-পার্থক্য বা Potential Difference-কে সংক্ষেপে P. D. বলা হয়। আমরা জানি, একটি বস্তুকে ভূ পৃষ্ঠ হইতে উপরে তুলিতে কাজ করিতে হয় এবং উপরে তুলিবার জন্য বস্তুটির মধ্যে স্থৈতিক শক্তি (Potential energy) সঞ্চিত হয়। ঐ বস্তুটি নীচে নামিবার সময়ে কাজ করিতে পারে। ঠিক সেইরূপ বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্রের নিম্ন বিভব হইতে উচ্চ বিভবের দিকে কোনও পজিটিভ চার্জকে লইতে হইলেও কাজ করিতে হয়। একক চার্জকে এক বিন্দু হইতে অন্য বিন্দুতে স্থানান্তরিত করিতে যদি একক পরিমাণ কাজ করিতে হয় তাহা হইলে দুইটি বিন্দুর একক বিভব পার্থক্য আছে মনে করা হয়।

ভোল্ট (Volt) : বিভব-পার্থক্যের ব্যবহারিক একক ভোল্ট। **এক বিন্দু হইতে অপর বিন্দুতে এক কুলম্ব চার্জ স্থানান্তরিত করিতে যদি এক জুল কাজ করিতে হয় তাহা হইলে দুইটি বিন্দুর বিভব-পার্থক্য এক ভোল্ট হইবে।**

220 ভোল্ট, 440 ভোল্ট প্রভৃতি বিভব-পার্থক্যগুলি বিদ্যুৎ সরবরাহের ক্ষেত্রে খুব ব্যবহৃত হয়। কোনও বৈদ্যুতিক মেইনে (mains) 220 ভোল্ট

বিভব-পার্থক্য আছে বলিলে বুঝা যায় 220 ভোল্ট বিভব-পার্থক্যে বিদ্যুৎ সরবরাহ করা হইতেছে। ইহাকে বৈদ্যুতিক চাপও (Electric Pressure) বলা হয়। অর্থাৎ দুইটি বিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্য থাকিলে উহাদের মধ্যে একটি বৈদ্যুতিক চাপ ক্রিয়া করিতেছে মনে করা হয়। এই চাপের জন্যই যেন উহাদের মধ্যে বিদ্যুৎপ্রবাহ চলে। তরল স্তম্ভের উচ্চতার সহিত উহার দ্বারা প্রযুক্ত চাপ যেমন সমানুপাতী সেইরূপ মনে করা হয় দুইটি বিন্দুর P. D-র সহিত উহাদের মধ্যে প্রযুক্ত বৈদ্যুতিক চাপও সমানুপাতী।

কুলম্ব (**Coulomb**) **:** বৈদ্যুতিক আধানের ব্যবহারিক একক (practical unit) কুলম্ব। ইহা ইলেক্ট্রোস্ট্যাটিক এককের (Electrostatic unit) তিন শত কোটি গুণ বড়। অর্থাৎ

$$1 \text{ কুলম্ব} = 3 \times 10^9 \; e.\,s.\,u.$$

অ্যাম্পিয়ার (**Ampere**) **:** ইহা বিদ্যুৎপ্রবাহের ব্যবহারিক একক (practical unit)। বিদ্যুৎ বর্তনীর কোনও বিন্দু দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে এক কুলম্ব আধান প্রবাহিত হইলে ঐ বর্তনীতে প্রবাহের প্রাবল্যকে এক অ্যাম্পিয়ার বলা হয়। সুতরাং t সেকেণ্ডে Q কুলম্ব বিদ্যুৎ প্রবাহিত হইলে প্রবাহ যদি C অ্যাম্পিয়ার হয় তাহা হইলে :

$$C = \frac{Q}{t} \text{ বা } Q = Ct$$

ইলেকট্রোমোটিভ ফোর্স (**Electromotive Force**) **:** বৈদ্যুতিক সেলে দস্তার পাত বা অন্য নেগেটিভ মেরু হইতে পজিটিভ আয়ন বাহির হইয়া আসে এবং পজিটিভ মেরুতে হাইড্রোজেন আয়ন বা অন্য আয়ন পজিটিভ চার্জ বহন করিয়া লইয়া যায়। কিন্তু পরিবাহী তারের দ্বারা যুক্ত না থাকিলে উভয় মেরুর মধ্যে একটা নির্দিষ্ট বিভব-পার্থক্য উৎপন্ন হইলেই সেলের ভিতরের এই প্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়। সেলের মধ্যে বিদ্যুৎকে চালনা করার জন্য প্রত্যেক সেলে একটি চালকবলের অস্তিত্ব কল্পনা করা হয়। ইহাকে বিদ্যুৎ-চালক বল বা ইলেকট্রোমোটিভ ফোর্স (Electromotive Force বা E. M. F.) বলে। এই E. M. F. উভয় মেরুর বিভব-পার্থক্য রক্ষা করে বলিয়া E. M. F. ও উন্মুক্ত-বর্তনীতে (open circuit) উভয় মেরুর বিভব-পার্থক্যকে (Potential difference বা P. D.) সমান ধরা হয়। উভয়ের এককও ভোল্ট (volt)।

পূর্বে আলোচিত সেলগুলির E. M. F. নিম্নে দেওয়া হইল :

সেল	E. M. F.
সাধারণ ভোল্টীয় সেল	1·08 volt
ডানিয়েল সেল	1·08 „
লেক্‌লান্‌স সেল	1·45 „
নির্জল (Dry) সেল	1·45 „

E. M. F. ও P. D-র পার্থক্য : E. M. F. ও P. D. একই এককে প্রকাশিত হইলেও উহারা ঠিক এক নয়। কোনও বিদ্যুৎ-বর্তনীর দুইটি বিন্দুর মধ্যে অন্য কোনও শক্তি বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত হইলে ঐ দুইটি বিন্দুর মধ্যে বিদ্যুৎ-চালক বল (E. M. F.) আছে বুঝিতে হইবে। কিন্তু কোনও বিদ্যুৎ-বর্তনীর দুইটি বিন্দুর মধ্যে বিদ্যুৎ-শক্তি অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হইলে ঐ দুইটি বিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্য (P. D.) আছে বুঝা যাইবে। বৈদ্যুতিক সেলের দুইটি মেরুর মধ্যে রাসায়নিক শক্তি বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়, সুতরাং উহাদের মধ্যে E. M. F. আছে। কিন্তু কোনও বৈদ্যুতিক বর্তনীর মধ্যে অবস্থিত একটি বৈদ্যুতিক বাতিতে বিদ্যুৎ-শক্তি তাপ ও আলোক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। সুতরাং, বর্তনীর মধ্যে অবস্থিত ঐ বাতির তারের দুই প্রান্তে P. D. আছে বুঝিতে হইবে।

সারাংশ

তাপ উৎপাদন, রাসায়নিক ক্রিয়া অথবা চুম্বক শলাকার ঘূর্ণন দ্বারা পরিবাহী তারে বিদ্যুৎপ্রবাহের অস্তিত্ব প্রমাণিত হয়।

দুইটি বিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্য স্থায়ী হইলে উহাদের পরিবাহী তার দ্বারা সংযুক্ত করিলে উচ্চ বিভব হইতে নিম্ন বিভবের দিকে বিদুৎপ্রবাহ চলে। বিভব-পার্থক্য বজায় রাখার জন্য যে কাজ করিতে হয় তাহাই বিদ্যুৎপ্রবাহের কারণ। সাধারণ ভোল্টীয় সেলে রাসায়নিক ক্রিয়ার দ্বারা এই বিভব-পার্থক্য বজায় রাখা হয়।

তামা ও দস্তার পাত সালফিউরিক এসিডে ডুবাইয়া সাধারণ ভোল্টীয় সেল তৈয়ারী হয়। বাহিরের তারে তামা হইতে দস্তায় বিদ্যুৎপ্রবাহ চলে। ভিতরে দস্তা হইতে তামায় প্রবাহ ঘটে। সাধারণ ভোল্টীয় সেলের ত্রুটি দুইটি : স্থানীয় ক্রিয়া ও ছদন (polarisation)। দস্তার পাতে দস্তা ও পারদ-সংকরের (amalgam) আস্তরণ দিয়া স্থানীয় ক্রিয়া বন্ধ করা হয়। রাসায়নিক উপায়ে পোলারিজেশন নিবারণ করা হয়।

ডানিয়েল সেলে তামার পাত্র পজিটিভ-মেরু, এমালগাম দেওয়া দস্তার পাত নেগেটিভ মেরু, সালফিউরিক এসিড তড়িৎ উত্তেজক তরল এবং তুঁতের দ্রবণ পোলারিজেশন নিবারক। **লেক্‌লান্‌স সেলে** পজিটিভ মেরু কার্বন রড্‌ নেগেটিভ মেরু এমালগাম দেওয়া দস্তার রড, তড়িৎউত্তেজক এমোনিয়াম ক্লোরাইড এবং পোলারিজেশন নিবারক ম্যাঙ্গানীজ ডাই-অক্‌সাইড। **ড্রাই সেল** (Dry cell) লেক্‌লান্‌স্‌ সেলের রূপান্তর, ইহাতে তরলের পরিবর্তে লেই(paste)লওয়া হয়।

কুলম্ব (Coulomb) : ইহা আধানের ব্যবহারিক একক। এক কুলম্ব $=3\times10^{9}e.\ s.\ u.$

বিভব-পার্থক্য (P. D.) : বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্রের দুইটি বিন্দুর বিভবের ব্যবধানকে বিভব-পার্থক্য বলে। বিভব-পার্থক্যের ব্যবহারিক একক ভোল্ট। এক বিন্দু হইতে অন্য বিন্দুতে এক কুলম্ব আধান স্থানান্তরিত করিতে যদি এক জুল কাজ করিতে হয় তাহা হইলে দুইটি বিন্দুর বিভব-পার্থক্য এক ভোল্ট হইবে।

কোনও পথে একটানা বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিতে পারিলে ঐ পথকে বিদ্যুৎ-বর্তনী (electric circuit) বলে। বর্তনী কোনও স্থানে বিচ্ছিন্ন থাকিলে তাহাকে মুক্ত-বর্তনী (open circuit) বলে এবং কোথাও বিচ্ছিন্ন না থাকিলে তাহাকে বদ্ধ বর্তনী (closed circuit) বলে।

কোনও বিদ্যুৎ-বর্তনীর মধ্যে দুইটি বিন্দুর মধ্যে যদি অন্য কোনও প্রকারের শক্তি বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয় তাহা হইলে উহাদের মধ্যে ইলেকট্রো-মোটিভ্‌ ফোর্স (Electromotive Force) বা E. M. F. আছে মনে করা হয়। আবার কোনও বর্তনীর দুইটি বিন্দুর মধ্যে বৈদ্যুতিক শক্তি তাপ প্রভৃতি অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হইলে ঐ দুইটি বিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্য বা P. D. আছে মনে করা হয়। E.M.F.-এরও একক ভোল্ট।

অনুশীলনী

1. *How can electric current be maintained between two points ?*

2. *Describe a simple voltaic cell and explain its action. What are its defects ? How can the defects be remedied ?*

3. *Describe each of the following cells explaining the action in each case : (i) Daniell cell ; (ii) Leclanche cell ; (iii) Dry cell.*

4. *Define a coulomb, a volt, and an ampere.*

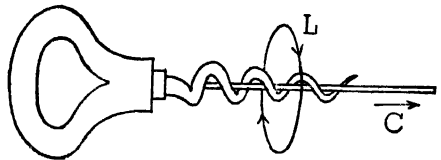
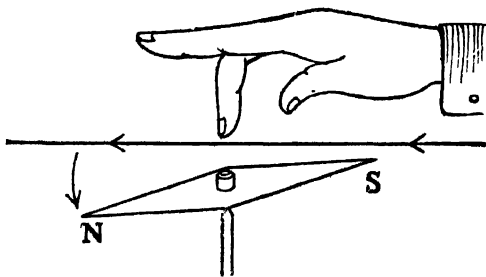
5. *What is meant by the* E.M.F. *? Distinguish between* E. M. F. *and* P. D.

বিদ্যুৎপ্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া

[Magnetic effect of electric current]

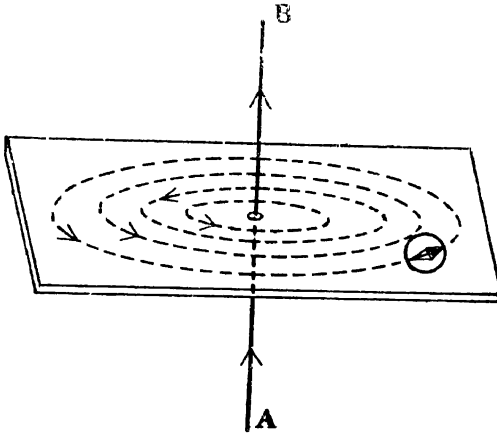
ওয়রস্টেডের পরীক্ষা (Oersted's Experiment): ১৮২০ খৃষ্টাব্দে ওয়রস্টেড আবিষ্কার করেন যে কোনও তারের ভিতরে বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিলে উহার নিকটে অবস্থিত চুম্বকশলাকা ঘুরিয়া যায়। পরিবাহী তার ও চুম্বকশলাকার পারস্পরিক অবস্থান এবং প্রবাহের দিকের উপর চুম্বকশলাকার ঘূর্ণনের দিক নির্ভর করে। নিম্নলিখিত নিয়মগুলির কোনও একটি নিয়ম অনুসরণ করিলে ঘূর্ণনের দিক জানা যাইতে পারে।

অ্যাম্পিয়ারের সন্তরণসূত্র (Ampere's Swimming Rule): মনে করা যাক, কোনও কাল্পনিক সাঁতারু সর্বদা চুম্বকশলাকাকে সম্মুখে রাখিয়া যেন পরিবাহী তার বরাবর প্রবাহের দিকে সাঁতার দিতেছে। ঐ সাঁতারুর বামহাতের দিকে চুম্বকশলাকার উত্তরমেরু ঘুরিয়া যাইবে। ইহাই সন্তরণসূত্র।

ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু সূত্র (Maxwell's Cork-screw Rule): ছিপি খুলিবার যন্ত্র কর্কস্ক্রু-কে ডানদিকে অর্থাৎ ঘড়ির কাঁটার মত ঘুরাইলে উহার সামনের সূচালো মুখ কর্কের মধ্যে প্রবেশ করে। ডান হাত দিয়া একটি কর্কস্ক্রু-কে পরিবাহী তারের সহিত সমান্তরালভাবে ধরিয়া যদি এমনভাবে ঘুরানো যায় যে, উহার সম্মুখ প্রান্ত বিদ্যুৎপ্রবাহের দিকে অগ্রসর হয়, তাহা হইলে ডান হাতের অঙ্গুষ্ঠ (বুড়ো আঙ্গুল) যে দিকে ঘুরিবে সেইদিকে চুম্বকশলাকার উত্তরমেরু ঘুরিয়া যাইবে।

৮৪নং চিত্র : কর্কস্ক্রু

৮৫নং চিত্র : ডানহাত সূত্রের প্রয়োগ

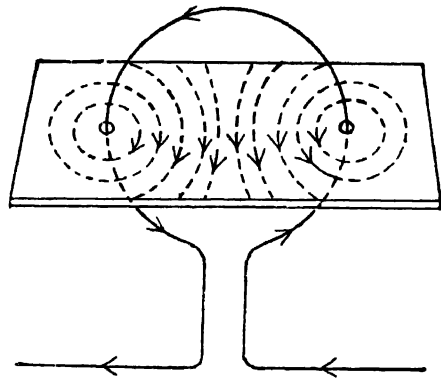
ফ্লেমিং-এর ডান হাত সূত্র (Flemming's Right Hand Rule): ডান হাতের অঙ্গুষ্ঠ, তর্জনী এবং মধ্যমা এই তিনটি আঙ্গুলকে পরস্পরের সহিত

লম্বভাবে রাখিতে হইবে। এই অবস্থায় ডান হাতটি পরিবাহী তারের কাছে এমনভাবে ধরিতে হইবে যাহাতে **তর্জনী প্রবাহের দিক নির্দেশ করে** এবং **মধ্যমা চুম্বকশলাকা কোন্ দিকে আছে তাহা নির্দেশ করে**। তাহা হইলে **অঙ্গুষ্ঠ চুম্বকশলাকার উত্তরমেরু কোন্ দিকে যাইবে তাহা নির্দেশ করিবে।**

বিদ্যুৎপ্রবাহের জন্য চৌম্বক ক্ষেত্র (Magnetic field due to electric current): চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত হইলেই কোনও চুম্বকের মেরুর উপর বল ক্রিয়া করে এবং তাহার ফলে মেরু স্থানান্তরিত হয়। সুতরাং বিদ্যুৎপ্রবাহের জন্য চুম্বক শলাকার ঘূর্ণন বিদ্যুৎ-প্রবাহের সহিত চৌম্বক-ক্ষেত্রের উৎপত্তির জন্যই সম্ভব। সুতরাং অনুমান করা যায়, কোনও তারের ভিতর বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিলে ঐ তারের চারিদিকে চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন হয়। কয়েকটি পরীক্ষার দ্বারা এই চৌম্বক ক্ষেত্রের উৎপত্তি ও প্রকৃতি সম্বন্ধে ধারণা করা যাইতে পারে।

৮৬নং চিত্র : বিদ্যুৎপ্রবাহের চৌম্বক ক্ষেত্র

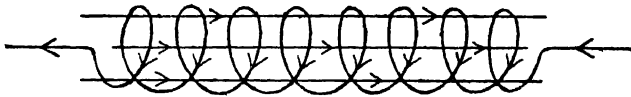
সরল পরিবাহীর জন্য চৌম্বক ক্ষেত্র (Magnetic field due to a straight conductor): একখানি কার্ডবোর্ডের মাঝখানে ছিদ্র করিয়া ছিদ্রপথে একগাছি তামার তার A-Bকে প্রবেশ করাইয়া ঊর্ধ্বাধ ভাবে রাখা হইল। কার্ডবোর্ডটিকে অনুভূমিক অবস্থানে রাখিয়া উহার উপর তারের চারিপাশে কিছু লোহাচুর ছড়াইয়া দেওয়া হইল। এখন তারের ভিতর দিয়া বিদ্যুৎপ্রবাহ চালাইলে লোহাচুরগুলি তারকে কেন্দ্র করিয়া বৃত্তাকার রেখায় সজ্জিত হইবে। কার্ডবোর্ডের উপর ধীরে ধীরে আঙ্গুল দিয়া টোকা দিলে রেখাগুলি স্পষ্ট হইবে। আমরা দেখিয়াছি, চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত হইলেই লোহাচুরগুলি চৌম্বক রেখা বরাবর সজ্জিত হয়। বিদ্যুৎপ্রবাহবাহী তারের চারিদিকে চৌম্বক ক্ষেত্রের অস্তিত্ব ও চৌম্বক বলরেখাগুলির অবস্থান সম্বন্ধে এই পরীক্ষা হইতে জানা যায়।

বলরেখার দিক : তারের বিদ্যুৎপ্রবাহ প্রবল হইলে একটি ছোট কম্পাস কাঁটাকে কার্ডবোর্ডের উপর রাখিয়া চৌম্বক বলরেখাগুলির দিক জানা যাইতে পারে। কাঁটার উত্তরমেরু বলরেখার দিক নির্দেশ করিবে। বলরেখাগুলির দিক ম্যাক্সওয়েলের কর্কস্ক্রু নিয়ম হইতে জানা যায়। কর্কস্ক্রুকে ডানহাতে ধরিয়া ঘুরাইলে উহার সূচাল সম্মুখপ্রান্ত যে দিকে আগাইয়া যায় তাহা বিদ্যুৎপ্রবাহের দিক হইলে, ডান হাতের অঙ্গুষ্ঠ যে দিকে ঘুরিবে তাহাই বলরেখাগুলির দিক নির্দেশ করিবে।

বৃত্তাকার বিদ্যুৎপ্রবাহের জন্য চৌম্বক ক্ষেত্র (Magnetic field due to circular current) : অনুভূমিক অবস্থানে রাখা একখানি কার্ডবোর্ডে দুইটি ছিদ্র করিয়া এক বৃত্তাকার তার বা অন্তরিত (insulated) তারের কুণ্ডলী (coil) ঐ ছিদ্রপথে প্রবেশ করাইয়া উর্ধ্বাধ অবস্থায় রাখা হইল। কার্ডবোর্ডের উপর কিছু লোহা-চুর ছড়াইয়া তারের বা কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া বিদ্যুৎপ্রবাহ চালাইলে লোহাচুরগুলিকে সুশৃঙ্খল রেখায় সজ্জিত হইতে দেখা যাইবে। কার্ডবোর্ডখানিকে আঙ্গুল দিয়া ধীরে ধীরে টোকা দিলে রেখাগুলি স্পষ্ট হইবে। বলরেখাগুলির দিক কর্কস্ক্রু-নিয়মের সাহায্যে পাওয়া যাইবে।

৮৭নং চিত্র : বৃত্তাকার—প্রবাহের চৌম্বক ক্ষেত্র

যদি দর্শকের কাছে কুণ্ডলীর বিদ্যুৎপ্রবাহ অঘটিকাবর্তী (anti-clockwise) দেখা যায়, তাহা হইলে বলরেখাগুলি কুণ্ডলীর ভিতর হইতে দর্শকের দিকে বাহির হইয়া আসিতেছে মনে হইবে। কিন্তু যদি কুণ্ডলীর প্রবাহ দর্শকের কাছে ঘটিকাবর্তী (clockwise) মনে হয়, তাহা হইলে বলরেখাগুলি দর্শকের দিক হইতে কুণ্ডলীর মধ্যে প্রবেশ করিতেছে মনে হইবে। একটি কম্পাসকাঁটাকে কার্ডবোর্ডের উপর কুণ্ডলীর মাঝখানে ও অন্যান্য স্থানে রাখিয়া ইহার সত্যতা পরীক্ষা করা যাইতে পারে।

কুণ্ডলীর মধ্যে বলরেখাগুলিকে লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে কুণ্ডলীর কেন্দ্রের কাছে বলরেখাগুলি প্রায় সমান্তরাল ও ঘনসন্নিবিষ্ট। অতএব কেন্দ্রের কাছে চৌম্বক ক্ষেত্র সুষম (uniform) ও অন্যান্য স্থানের তুলনায় প্রবল এবং বলরেখাগুলির দিক কুণ্ডলীর তলের সহিত লম্বভাবে অবস্থিত।

সলিনয়েডের বলক্ষেত্র (Field due to a solenoid) : তারকে স্প্রিংএর মত পাক দিয়া দীর্ঘাকার কুণ্ডলী প্রস্তুত করিলে তাহাকে সলিনয়েড্ বলে। সলিনয়েডের প্রত্যেক পাককে এক একটি বৃত্তাকার পরিবাহী মনে করা যায়। প্রত্যেকটি বৃত্তাকার পরিবাহীর জন্য উহার কেন্দ্রের কাছে বৃত্তের তলের সহিত সমকোণে সমান্তরাল বলরেখাগুলি অবস্থিত হইবে। সলিনয়েডের কোনও এক প্রান্ত হইতে দেখিলে প্রত্যেক পাকের প্রবাহের দিক একই মনে হইবে।

৮৮নং চিত্র : সলিনয়েড্

সুতরাং প্রত্যেক পাকের কেন্দ্রগামী বলরেখার দিকও এক হইবে। সুতরাং, প্রত্যেক পাকের জন্য উৎপন্ন বলরেখাগুলি জোড়া লাগিয়া যেন সলিনয়েডের সহিত সমান্তরালভাবে বলরেখাগুলি অবস্থিত হইবে। সলিনয়েডের যে প্রান্ত হইতে দেখিলে প্রবাহের দিক ঘটিকাবর্তী (clockwise) মনে হইবে সেই প্রান্তে বলরেখাগুলি সলিনয়েডের ভিতরে প্রবেশ করিবে। কিন্তু আমরা জানি, কোনও চুম্বকের দক্ষিণমেরুতে বলরেখাগুলি প্রবেশ করে। সুতরাং সলিনয়েডেরও আলোচ্য প্রান্ত দক্ষিণমেরুর মত কাজ করিবে। উহার বিপরীত প্রান্তের দিক হইতে দেখিলে প্রবাহের দিক অঘটিকাবর্তী (anticlockwise) মনে হইবে ; সুতরাং ঐ দিকে বলরেখাগুলি বাহির হইবে এবং ঐ প্রান্ত চুম্বকের উত্তরমেরুর মত কাজ করিবে। অর্থাৎ সমগ্র সলিনয়েড্ একটি চুম্বকদণ্ডের মত কাজ করিবে।

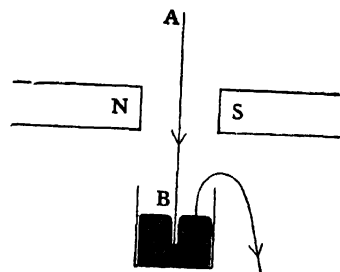
সলিনয়েড্ চুম্বক (Solenoidal magnet) : একটি মোটা এবং ছোট টেষ্টটিউবের মধ্যে নীচে কিছু পারদ ও তাহার উপর সালফিউরিক এসিড ও জল লইয়া একটি দস্তা ও একটি তামার পাত এসিডে ডুবাইয়া দিলে একটি সাধারণ ভোল্টীয় সেল উৎপন্ন হয়। একগাছি তামার তারকে সলিনয়েডের আকারে জড়াইয়া উহার দুই প্রান্ত তামা ও দস্তার পাতের সহিত যুক্ত করা হইল। এখন টেষ্টটিউবটি জলে ভাসাইয়া দিলে সলিনয়েডটি ভাসমান চুম্বকের মত কাজ করিবে এবং উহার অক্ষ আলোচ্য স্থানের চৌম্বক মধ্যতলের সহিত সমান্তরাল-ভাবে অবস্থিত হইবে। টেষ্টটিউবের পারদ উহাকে সোজাভাবে ভাসিতে সাহায্য করিবে।

সলিনয়েডের অবস্থান হইতে উহার কোন্ প্রান্তে কোন্ মেরু অবস্থিত তাহাও জানা যাইবে। একটি চুম্বক দণ্ডের কোনও মেরুকে ভাসমান সলিনয়েডটির

কোনও প্রান্তের কাছে ধরিলে আকর্ষণ বা বিকর্ষণও লক্ষ্য করা যাইবে। এই ভাসমান সলিনয়েডকে উহার উদ্ভাবকের নাম অনুসারে ডি-লা-রাইভ্-এর ভাসমান ব্যাটারি (De-la-Rive's floating battery) বলা হয়।

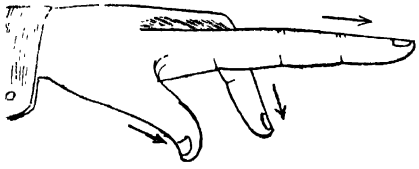
তড়িৎচুম্বক (Electromagnet **:** আমরা চুম্বকতত্ত্বে দেখিয়াছি একটি লোহার রডের উপর অন্তরিত (insulated) তার জড়াইয়া বিদ্যুৎ-প্রবাহ চালাইলে রডটি চুম্বকে পরিণত হয়। তারের কুণ্ডলীটি এখানে সলিনয়েডের মত কাজ করে। কেবল সলিনয়েডও চুম্বকের মত কাজ করে। কিন্তু উহার মাঝখানে লোহার রড থাকিলে লোহার রডের ভিতরে চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। এই জন্য উহা সলিনয়েডের তুলনায় শক্তিশালী চুম্বক হয়। মাঝখানের লোহার রডটিকে কোর (core) বলা হয়।

বিদ্যুৎপ্রবাহের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়া
[Action of magnet on current]

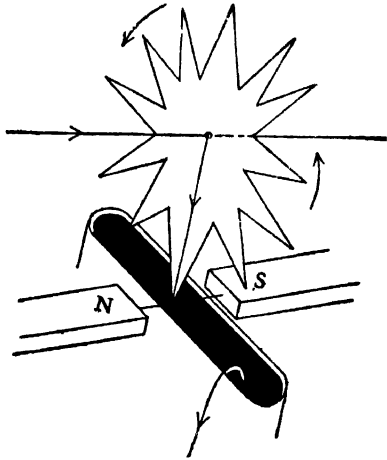
বিদ্যুৎপ্রবাহের চারদিকে চৌম্বক ক্ষেত্র থাকে। সুতরাং কোনও চৌম্বক ক্ষেত্রে বিদ্যুৎপ্রবাহবাহী তার থাকিলে ঐ তারের উপর বল ক্রিয়া করিবে। একটি পরীক্ষা দ্বারা ইহা দেখান যায়। দুইখানি চুম্বকের বিপরীত মেরু কাছাকাছি রাখিয়া উহাদের মাঝখানে একটি তারকে ঊর্ধ্বাধভাবে ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। তারটির নিম্নপ্রান্ত একটি পাত্রে রাখা পারদের মধ্যে ডুবান থাকিবে। এখন তারের মধ্যে বিদ্যুৎপ্রবাহ চালাইলে তারটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সহিত সমকোণে একদিকে সরিয়া যাইবে। প্রবাহের দিক পরিবর্তিত হইলে তারের গতির দিকও পরিবর্তিত হইবে। আবার প্রবাহের দিক অপরিবর্তিত রাখিয়া

৮৯নং চিত্র : চৌম্বক ক্ষেত্রে বৈদ্যুতিক তারের উপর বলের প্রয়োগ

চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক উল্টাইয়া দিলে, অর্থাৎ উত্তর ও দক্ষিণ মেরুকে পরস্পর স্থান পরিবর্তন করিয়া রাখিলে, তারের গতি বিপরীত দিকে হইবে। বিদ্যুৎ-প্রবাহ ও চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক সমান্তরাল হইলে তারের কোনও গতি লক্ষ্য করা যাইবে না। তারের এই গতির দিক ফ্লেমিং-এর বাম হাত সূত্র (Flemming's Left Hand Rule) হইতে পাওয়া যায়।

ফ্লেমিংএর বাম হাত সূত্র (Flemming's Left Hand Rule) **:** বাম হাতের মধ্যমা, তর্জনী ও অঙ্গুষ্ঠকে পরস্পর সমকোণে রাখিয়া বাম হাতটিকে

এমন ভাবে ধরিতে হইবে যাহাতে **তর্জনী বলক্ষেত্রের** দিক এবং **মধ্যমা বিদ্যুৎপ্রবাহের** দিক নির্দেশ করে। তাহা হইলে **অঙ্গুষ্ঠ পরিবাহী তারের গতির দিক** নির্দেশ করিবে। চিত্রে তর্জনী (fore finger), মধ্যমা (middle finger), এবং অঙ্গুষ্ঠ (thumb) স্ব স্ব দিক নির্দেশ করিতেছে।

৯০নং চিত্র : বাম হাত সূত্রের চিত্র-রূপ

বারলো চক্র (Barlow's wheel) : বিদ্যুৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়ার প্রয়োগে এই যন্ত্রটি বারলো কর্তৃক উদ্ভাবিত হয়। একটি অশ্বক্ষুধাকৃতি চুম্বকের দুই মেরুর মাঝখানে একটি পারদের পাত্র রাখা হয়। একটি তারকার আকারের ধাতুর পাতে নির্মিত চক্রকে উহার কেন্দ্রগামী একটি অনুভূমিক অক্ষের উপর এমনভাবে রাখা হয় যে চক্রটি ঐ অক্ষের উপর অনায়াসে ঘুরিতে পারে। চক্রের যে কোনও একটি স্পোক (spoke) পারদে ডুবিয়া থাকে। পারদের মধ্যে একটি পরিবাহী তারের প্রান্ত নিমজ্জিত থাকে। এই নিমজ্জিত তার এবং চক্রটির অক্ষ কোনও বৈদ্যুতিক সেলের দুই মেরুর সহিত সংযুক্ত করিলে চক্রের নিমজ্জিত স্পোক এবং পারদের ভিতর দিয়া বর্তনীটি যুক্ত (closed) হয় এবং প্রবাহ চলিতে থাকে। প্রবাহ চলিলেই চক্রটিকে একটানা ঘুরিতে দেখা যায়।

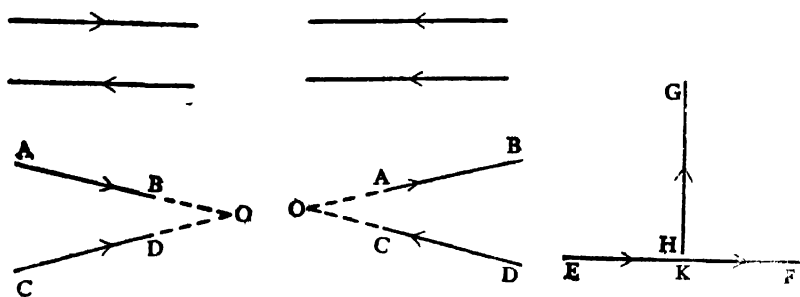
৯১নং চিত্র : বারলো চক্র

চক্রের নিমজ্জিত স্পোকটিকে একটি ঊর্ধ্বাধ পরিবাহী মনে করা যায়। উহা চুম্বকের ক্ষেত্রে অবস্থিত হওয়ার জন্য গতি লাভ করে। ফ্লেমিং-এর বাম হাত সূত্র হইতে ঐ গতির দিক জানা যায়। স্পোকটি গতির ফলে পারদ ছাড়াইয়া উঠিয়া যায় কিন্তু পরের স্পোকটি পারদে নিমজ্জিত হইয়া আবার অনুরূপ গতি লাভ করে। এইভাবে পর পর স্পোকগুলি ছোট ছোট ধাক্কায় চলিতে থাকে এবং চাকাটিও ঘুরিতে থাকে। প্রবাহের দিক পরিবর্তন করিলে চাকার ঘূর্ণনের দিকও পরিবর্তিত হয়। বারলো চক্রকে সরল বৈদ্যুতিক মোটর (Simple motor) বলা যায়।

দুইটি বিদ্যুৎবাহী তারের পরস্পর ক্রিয়া

[Action of current on current]

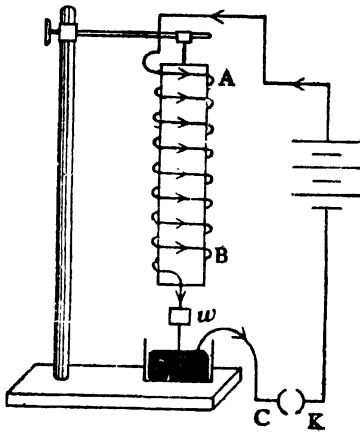
কোনও তারের মধ্যে বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিলে উহার চারিদিকে সর্বদা চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন হয়। সুতরাং পাশাপাশি দুইটি তারে প্রবাহ চলিলে উহাদের চৌম্বক ক্ষেত্র দুইটিও পরস্পরের উপর ক্রিয়া করিবে এবং তাহার ফলে তার দুইটি পরস্পরকে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করিবে। এই সম্বন্ধে নিয়মগুলি নিম্নলিখিতরূপ।

সমান্তরাল প্রবাহ (Parallel current): সমান্তরাল (বা প্রায় সমান্তরাল) দুইটি তারের মধ্যে প্রবাহ চলাইলে, যদি প্রবাহ একই দিকে চলে তাহা হইলে তার দুইটি পরস্পরকে আকর্ষণ করে। কিন্তু যদি দুইটি তারের প্রবাহ বিপরীত দিকে প্রবাহিত হয়, তাহা হইলে উহারা পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

আনত প্রবাহ (Inclined current): দুইটি তার যদি পরস্পরের সহিত কোনও কোণে আনত হয়, তাহা হইলে তার দুইটির অবস্থান নির্দেশক সরল রেখা দুইটিকে বর্ধিত করিলে উহারা এক বিন্দুতে মিলিত হইবে। ৯২নং চিত্রে AB ও CD এইরূপ দুইটি তার। AB ও CD-কে বর্ধিত করায় তাহারা

৯২নং চিত্র : পরিবাহী H তারে বিদ্যুৎপ্রবাহ আকর্ষণ ও বিকর্ষণ

O বিন্দুতে মিলিত হইল। যদি দুইটি তারের প্রবাহই O বিন্দুর দিকে যায় বা O বিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া মনে হয়, তাহা হইলে তার দুইটির মধ্যে আকর্ষণ হইবে। কিন্তু যদি একটি তারের প্রবাহ O বিন্দু হইতে বাহির হইতেছে এবং অন্য তারের প্রবাহ O বিন্দুর দিকে যাইতেছে মনে হইলে, তার দুইটির মধ্যে বিকর্ষণ হইবে।

রোজের কম্পমান কুণ্ডলী (Roget's vibrating spiral): দুইটি প্রবাহের পরস্পর ক্রিয়ার প্রয়োগে ইহা নির্মিত। পরিবাহী তারের একটি দীর্ঘাকার কুণ্ডলী AB-কে কোনও স্ট্যাণ্ড হইতে উর্ধ্বাধভাবে ঝুলাইয়া দেওয়া হয়।

উহার নিম্ন প্রান্তে একটি ছোট সীসার ডেলা W বাঁধিয়া দেওয়া হয়। নীচে একটি পাত্রে রাখা পারদের মধ্যে সীসার ডেলাটি ডুবিয়া থাকিবে। পারদের

৯৩নং চিত্র : রোজের কম্পমান কুণ্ডলী

মধ্যে অন্য একগাছি তার ডুবাইয়া এই তারের অপর প্রান্ত C এবং কুণ্ডলীর উপরের প্রান্ত A একটি বৈদ্যুতিক সেলের সহিত সংযুক্ত করা হয়। প্লাগ K বন্ধ করিলে পারদের ভিতর দিয়া বর্তনী যুক্ত (closed) হয় এবং প্রবাহ চলে। সঙ্গে সঙ্গে কুণ্ডলীর তারের পাকগুলি সঙ্কুচিত ও প্রসারিত হইতে থাকে এবং সীসার ডেলাটি একবার পারদ ছাড়িয়া উঠিতে এবং আবার পারদে ডুবিতে থাকে।

বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিলে কুণ্ডলীর যে কোনও দুইটি সন্নিহিত পাকের তারে একই দিকে প্রবাহ চলে। সুতরাং পাক দুইটি পরস্পরকে আকর্ষণ করে ও পরস্পরের কাছে চলিয়া আসে। এইভাবে সন্নিহিত দুই দুইটি পাকের মধ্যে ব্যবধান কমিয়া যাওয়ায় সমগ্র কুণ্ডলীটি দৈর্ঘ্যে সংকুচিত হয় এবং W ওজনটি পারদের উপর উঠিয়া আসে। পারদ হইতে AB কুণ্ডলীর শেষ প্রান্ত এইভাবে বিচ্ছিন্ন হইলেই বর্তনীটি মুক্ত (open) হইয়া যায় এবং তৎক্ষণাৎ প্রবাহ বন্ধ হয়। প্রবাহ বন্ধ হইলেই আর পাকগুলি পরস্পরকে আকর্ষণ করে না এবং সীসার ওজনটির ভারে কুণ্ডলীর নীচের প্রান্ত আবার পারদে ডোবে এবং বর্তনী আবার যুক্ত হয়। সুতরাং আবার কুণ্ডলী সংকুচিত হয়। এইভাবে যতক্ষণ প্রবাহ চলে ততক্ষণ কুণ্ডলীটি কাঁপিতে থাকে।

।। সারাংশ ।।

কোনও তারে বিদ্যুৎ-প্রবাহ চলিলে উহার চারিদিকে চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন হয়। চৌম্বক ক্ষেত্রের অস্তিত্ব চুম্বক শলাকা বা লোহাচুর দ্বারা প্রমাণ করা যায়। অ্যাম্পিয়ারের সন্তরণ সূত্র এবং ফ্লেমিং-এর ডান হাত সূত্র হইতে চুম্বক শলাকার উত্তরমেরুর ঘূর্ণনের দিক জানা যায়। ম্যাক্সওয়েলের কর্কস্ক্রু সূত্র হইতে চৌম্বক বলরেখার দিক জানা যায়: কর্কস্ক্রু ডান হাত দিয়া ঘুরাইলে উহার সূচালো মুখ যে দিকে অগ্রসর হয় তাহা প্রবাহের দিক হইলে, ডান হাতের অঙ্গুষ্ঠের (thumb-এর) ঘূর্ণনের দিকই চৌম্বক বলরেখার দিক।

বৃত্তাকার বিদ্যুৎবাহী তারের মাঝখানে চৌম্বক বলরেখাগুলি সমান্তরাল ও ঘনসন্নিবিষ্ট হয়। সুতরাং কেন্দ্রের কাছে সংকীর্ণ স্থানে চৌম্বক ক্ষেত্রকে সুষম (uniform) ক্ষেত্র বলা যায়।

দীর্ঘাকার তারের কুণ্ডলীকে সলিনয়েড্ (solenoid) বলে। সলিনয়েডের মধ্যে বলরেখাগুলি সলিনয়েডের অক্ষের সহিত সমান্তরাল এবং ঘনসন্নিবিষ্ট হয়। এইজন্য সলিনয়েড্ একটি চুম্বকের মত কাজ করে। যে দিক হইতে দেখিলে প্রবাহের দিক ঘটিকাবর্তী (clockwise) মনে হয়, সেই দিকে দক্ষিণমেরু এবং বিপরীত দিকে উত্তরমেরু থাকে। সলিনয়েডের মাঝখানে একটি কাচা লোহার রড লইলে চুম্বক খুব প্রবল হয়। এই লোহাকে চুম্বকের কোর (core) বলে।

চৌম্বক ক্ষেত্রে কোনও বিদ্যুৎবাহী তার থাকিলে তাহার উপর যে বল ক্রিয়া করে তাহা ফ্লেমিংএর বাম হাত সূত্র হইতে পাওয়া যায়। বারলো চক্র (Barlow's wheel) যন্ত্রটি এই মূলনীতির প্রয়োগে নির্মিত।

দুইটি সমান্তরাল বিদ্যুৎবাহী তারের প্রবাহ এক দিকে হইলে উহাদের মধ্যে আকর্ষণ এবং বিপরীত দিকে হইলে উহাদের মধ্যে বিকর্ষণ হয়। অসমান্তরাল তার হইলে দুইটি তারের প্রবাহ যদি তার দুইটির ছেদ বিন্দুর দিকে যায়, অথবা ছেদবিন্দু হইতে আসে তাহা হইলে তার দুইটির মধ্যে আকর্ষণ হয়। কিন্তু যদি একটি তারের প্রবাহ ছেদবিন্দুর দিকে এবং অপর তারের প্রবাহ ছেদবিন্দু হইতে আসে তাহা হইলে উভয়তারের মধ্যে বিকর্ষণ হয়। রোজের কম্পমান কুণ্ডলী এই মূলনীতির প্রয়োগে নির্মিত।

অনুশীলনী

1. Describe experiments to show the existence of magnetic field round an electric current. How can you determine the direction of the field ?

2. Describe an experiment to study the nature of the magnetic field at the centre of a circular conductor.

3. What is a solenoid ? Describe a floating battery. How are the poles of a solenoidal magnet determined ?

4. What is Flemming's left hand rule ? Describe Barlow's wheel and explain its action.

5. Explain the different cases of the action of current on current. Describe Roget's vibrating spiral and explain its action.

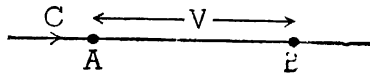
6. Write short notes on :

(a) *De la Rive's floating battery*
(b) *Electromagnet.*

ওহ্‌ম সূত্র ও রোধ

[Ohm's Law and Resistance]

ওহ্‌ম-সূত্র (Ohm's Law) : কোনও বিদ্যুৎ-বর্তনীতে বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিলে ঐ বর্তনীর যে কোনও অংশে বিভব-পার্থক্য বা P. D. উৎপন্ন হয়। বিখ্যাত জার্মান বিজ্ঞানী জি. এস. ওহ্‌ম্ (G. S. Ohm) এই বিভব-পার্থক্য ও বর্তনীর মধ্যে চালিত বিদ্যুৎ প্রবাহের মধ্যে সম্বন্ধের নিম্নলিখিত সূত্রটি বিধিবদ্ধ করেন :

নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বিদ্যুৎ-বর্তনীর অন্তর্গত এক বিন্দু হইতে অন্য কোনও বিন্দু পর্যন্ত উৎপন্ন বিভব-পার্থক্য (বা P. D.) **ও ঐ বর্তনীর বিদ্যুৎপ্রবাহ পরস্পর সমানুপাতী।**

৯৪নং চিত্র : ওহ্‌ম সূত্রের রেখারূপ

মনে করা যাক, AB কোনও বর্তনীর অন্তর্গত একটি সরু তার। বর্তনী মধ্যে বিদ্যুৎপ্রবাহ C এবং AB-র উভয়প্রান্তে উৎপন্ন বিভব-পার্থক্য V হইলে, ওহ্‌ম সূত্র অনুসারে :

$$V \propto C$$

সুতরাং $V = RC$ যখন R ধ্রুবক।$\cdots$ (i)

অথবা $C = \frac{V}{R} \cdots$(ii)

(i) অথবা (ii) চিহ্নিত সূত্রের দ্বারাও ওহ্‌মের সূত্রকে প্রকাশ করা যায়।

পূর্বের আলোচনায় R-কে একটি ধ্রুবক বলা হইয়াছে। কিন্তু যতক্ষণ A ও B বিন্দুর মধ্যে একটি নির্দিষ্ট পরিবাহী তার থাকিবে এবং উহার উষ্ণতা স্থির থাকিবে ততক্ষণই R-এর মান ধ্রুবক হইবে। যদি কোনও উপায়ে A ও B বিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্যকে স্থির রাখা যায় এবং বিভিন্ন পরিবাহী তার দ্বারা A ও B বিন্দুকে যুক্ত করা যায়, তাহা হইলে R-এর মান পরিবর্তিত হইবে। (ii) চিহ্নিত সূত্র হইতে দেখা যাইবে V স্থির থাকিয়া R-এর মান যত বৃদ্ধি পায় $\frac{V}{R}$ অর্থাৎ C এর মান তত হ্রাস পায়। অতএব R-এর কাজ

বিদ্যুৎপ্রবাহকে বাধা দেওয়া বলা যাইতে পারে। এইজন্য পরিবাহীর এই বিশেষ ধর্মকে **রোধ** (Resistance) বলে। কোনও পরিবাহীর রোধ উহার উষ্ণতা, দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদ এবং উপাদানের উপর নির্ভর করে।

পূর্বের (ii) চিহ্নিত সূত্র হইতে $R=\frac{V}{C}$ সুতরাং $C=1$ হইলে $R=V$ হইবে। অতএব একক বিদ্যুৎ-প্রবাহের দ্বারা কোনও পরিবাহীর উভয় প্রান্তে যে বিভব-পার্থক্য উৎপন্ন হয় ঐ পরিবাহীর রোধের সহিত তাহার সাংখ্যমান সমান।

ওহ্‌ম (Ohm) : রোধের ব্যবহারিক একক ওহ্‌ম। V-কে ভোল্টে এবং C-কে অ্যাম্পিয়ারে প্রকাশ করিলে R-এর মান ওহ্‌মে প্রকাশিত হয়। $R=\frac{V}{C}$ সম্বন্ধ হইতে বলা যায় কোনও পরিবাহীর মধ্যে এক অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিলে যদি উহার উভয় প্রান্তের মধ্যে এক ভোল্ট P. D. উৎপন্ন হয় তাহা হইলে ঐ পরিবাহীর রোধ এক ওহ্‌ম। সুতরাং ওহ্‌মের সংজ্ঞা হইতে পাওয়া গেল :

$$C\ (\text{অ্যাম্পিয়ার})=\frac{V\ (\text{ভোল্ট})}{R\ (\text{ওহ্‌ম})}$$

উদাহরণ 1. কোনও পরিবাহীর মধ্যে 2 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎপ্রবাহ চলায় উহার উভয় প্রান্তের মধ্যে 20 ভোল্ট বিভব-পার্থক্য উৎপন্ন হইল। পরিবাহীর রোধ কত ?

প্রশ্নানুসারে, $C=2$ অ্যাম্পিয়ার

$V=20$ ভোল্ট

$$\therefore\quad R=\frac{V}{C}=\frac{20}{2}\ \text{ওহ্‌ম}=\mathbf{10}\ \text{ওহ্‌ম}।$$

উদাহরণ 2. কোনও বিদ্যুৎবর্তনীর মধ্যে অবস্থিত 100 ওহ্‌ম রোধ-বিশিষ্ট কোনও পরিবাহীর উভয় প্রান্তে উৎপন্ন P. D. 250 ভোল্ট হইলে, ঐ বর্তনীর মধ্যে প্রবাহের মান কত ?

প্রশ্নানুসারে, $R=100$ ওহ্‌ম

$V=250$ ভোল্ট

সুতরাং, $C=\frac{V}{R}$

$=\frac{250}{100}$ অ্যাম্পিয়ার

$=2{\cdot}5$ অ্যাম্পিয়ার।

উদাহরণ 3. 220 ভোল্ট বৈদ্যুতিক চাপবিশিষ্ট মেইনে (mains) একটি বৈদ্যুতিক বাতি সংযুক্ত করায় বাতির মধ্যে $\frac{1}{2}$ অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ চালিত হইল। বাতিটির রোধ কত?

প্রশ্নানুসারে, $V = 220$ ভোল্ট

$C = \frac{1}{2}$ অ্যাম্পিয়ার

$\therefore \quad R = \frac{V}{C}$

$= \frac{220}{\frac{1}{2}}$ ওহ্‌ম

$= \mathbf{440}$ ওহ্‌ম

উদাহরণ 4. স্বাভাবিক উষ্ণতায় একটি তারের কুণ্ডলীর রোধ 200 ওহ্‌ম। $\frac{1}{4}$ অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিলে ঐ তারের উষ্ণতার বিশেষ পরিবর্তন হয় না। ঐ বিদ্যুৎপ্রবাহের দ্বারা কুণ্ডলীর উভয় প্রান্তে কত বিভব-পার্থক্য উৎপন্ন হয়।

এখানে, $R = 200$ ওহ্‌ম

$C = \frac{1}{4}$ অ্যাম্পিয়ার

$\therefore \quad V = CR$

$= 200 \times \frac{1}{4}$ ভোল্ট

$= \mathbf{50}$ ভোল্ট

রোধক: কোনও পরিবাহীর রোধ থাকিলে তাহাকে **রোধক** বলে। রোধ একটি ধর্ম এবং এই ধর্মবিশিষ্ট যে কোনও বস্তুর নাম রোধক। রোধককে ইংরেজীতে resistor বা resistance বলা হয়।

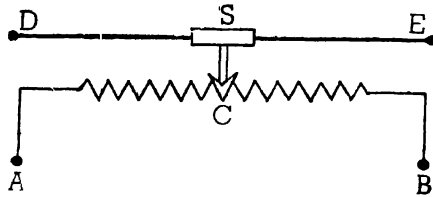
আপেক্ষিক রোধ (Specific resistance): সমস্ত পদার্থের রোধ করিবার ক্ষমতা সমান নয়। বিভিন্ন উপাদানে প্রস্তুত সমান মোটা এবং সমান দীর্ঘ কয়েকটি তার লইয়া পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে উহাদের রোধ বিভিন্ন। কোনও পদার্থের রোধ করিবার ক্ষমতাকে উহার আপেক্ষিক রোধ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। **একক প্রস্থচ্ছেদ ও একক দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট কোনও পরিবাহীর রোধকে উহার উপাদানের আপেক্ষিক রোধ বলে।**

সুপরিবাহী পদার্থের আপেক্ষিক রোধ খুব কম। সমস্ত ধাতুরই আপেক্ষিক রোধ কম, কিন্তু ধাতুগুলির মধ্যে আবার আপেক্ষিক রোধের তারতম্য আছে। তামা ও রূপার আপেক্ষিক রোধ সর্বাপেক্ষা কম। কিন্তু কনষ্টাণ্টান (constantan), জার্মান সিলভার, ইউরেকা (Eureka) প্রভৃতি কয়েকটি মিশ্র ধাতুর আপেক্ষিক রোধ বেশী। এইজন্য প্রায়ই এই সমস্ত মিশ্রধাতু দ্বারা বিদ্যুৎ-বর্তনীতে ব্যবহৃত রোধক প্রস্তুত হয়।

আবার তার যত সরু হয় তাহার রোধ তত বেশী হয়। সরু তারের ভিতর

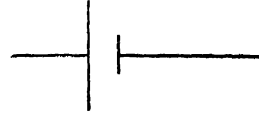
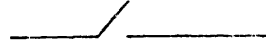
সংকীর্ণ পথে বিদ্যুৎপ্রবাহকে চলিতে হয় বলিয়াই উহার রোধ বেশী হয়। এই জন্য সরু তামার তার দ্বারাও রোধক প্রস্তুত করা যায়।

নানা প্রকারের রোধক

পরিবর্তনীয় রোধক (Variable resistance) : কোনও তারের কুণ্ডলীর (coil) রোধ প্রয়োজনানুসারে পরিবর্তন করার ব্যবস্থাথাকিলেও তাহাকে পরিবর্তনীয় রোধক বলে। নিম্নে একটি পরিবর্তনীয় রোধকের চিত্র দেওয়া হইল। ইহাকে পরিবর্তনীয় রিওষ্টাট্ (Variable rheostat) বলে। AB উচ্চ আপেক্ষিক রোধ বিশিষ্ট তারের একটি কুণ্ডলী। DE একটি মোটা ধাতব

৯৫নং চিত্র : পরিবর্তনীয় রোধক

রড। একটি ধাতব হাতল S দ্বারা DE রডটিকে AB কুণ্ডলীর সঙ্গে সংযুক্ত করা থাকে। S-কে ঠেলিয়া কুণ্ডলীর যে কোনও বিন্দুর সঙ্গে রডটির সংযোগ করা যায়। চিত্রে C বিন্দুর সঙ্গে S-এর সংযোগ দেখানো হইয়াছে। যদি A ও D বিন্দুকে কোনও বিদ্যুৎ-বর্তনীর মধ্যে সংযুক্ত করা হয় তাহা হইলে কুণ্ডলীর AC অংশের রোধ ঐ বর্তনীর মধ্যে প্রযুক্ত হয়। DE রডটি খুব মোটা হওয়ায় উহার রোধ কিছুই নাই ধরা যাইতে পারে। বৈদ্যুতিক পাখার রেগুলেটারও (regulator) একই মূলনীতির উপর নির্মিত।

রোধ-বাক্স (Resistance box) : রোধ-বাক্স পরীক্ষাগারে ব্যবহৃত হয়। একটি কাঠের বাক্সের উপর একটি মোটা পিতলের পাতের মধ্যে কতকগুলি প্লাগ বা চাবি লাগান থাকে। প্রত্যেক প্লাগের পাশে একটি রোধ-জ্ঞাপক সংখ্যা লেখা থাকে। প্লাগগুলি দুই বা তিন সারিতে সাজান থাকে এবং উহাদের আরম্ভে ও শেষে তার জুড়িবার জন্য দুইটি স্ক্রু থাকে। সবগুলি প্লাগ বন্ধ থাকিলে দুইটি স্ক্রুর মধ্যে কোনও রোধ থাকে না। কিন্তু কোনও প্লাগ খুলিলে ঐ প্লাগের নীচে বাক্সের মধ্যে যে সরু তারের কুণ্ডলী আছে উহার রোধ বর্তনীতে যোগ হয়। প্রত্যেক কুণ্ডলীর রোধ উহার উপরে প্লাগের পাশে লেখা থাকে।

বর্তনীর বিভিন্ন অংশের প্রতীক ঃ বিদ্যুৎ-বর্তনীর মধ্যে ব্যবহৃত বিভিন্ন অংশকে সাধারণত নিম্নলিখিত প্রতীক দ্বারা প্রকাশ হয় :

আভ্যন্তরিক রোধ (Internal resistance) ঃ কোনও বিদ্যুৎ-বর্তনীর মধ্যে বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিলে প্রবাহ সম্পূর্ণ বর্তনীকে ঘুরিয়া আসে। সেলের বাহিরে যেমন, ভিতরেও তেমনি বিদ্যুৎপ্রবাহকে রোধ অতিক্রম করিতে হয়; ভিতরের এই রোধকে **আভ্যন্তরিক রোধ** বলে। সেলের বাহিরের রোধকে **বাহ্যিক রোধ** (External resistance) বলে। আভ্যন্তরিক ও বাহ্যিক রোধকে যথাক্রমে r ও R দ্বারা সূচিত করা হয়।

বদ্ধ-বর্তনীতে ওহ্‌ম-সূত্রের প্রয়োগ (Ohm's Law in a closed circuit) : মনে করা যাক, কোন প্রবাহের মান C অ্যাম্পিয়ার এবং সেলের E. M F. = E ভোল্ট। যদি Q কুলম্ব বৈদ্যুতিক আধান (charge) বর্তনীর মধ্যে প্রবাহিত হয়, তাহা হইলে সেলের E. M. F. দ্বারা কৃত কাজ = EQ জুল।

কিন্তু ওহ্‌ম-সূত্র অনুসারে :

সেলের ভিতরের P. D. = Cr ভোল্ট

এবং সেলের বাহিরের P. D. = CR "

ধরা যাক, CR = V এবং Cr = v.

তাহা হইলে সেলের বাহিরের এই P. D.-র বিরুদ্ধে প্রবাহিত হইবার জন্য আধান কর্তৃক কৃত কাজ

$=(V+v)\,Q$ জুল

$=(CR+Cr)\,Q$ জুল

কিন্তু শক্তির নিত্যতার নিয়ম অনুসারে সেল কর্তৃক কৃত কাজ ও বাহিরের আধান কর্তৃক কৃত কাজ সমান হইবে।

সুতরাং $(CR+Cr)\,Q=EQ$

বা, $CR+Cr=E$

বা, $C(R+r)=E$

বা, $C=\frac{E}{R+r}$

অর্থাৎ কোনও বর্তনীর প্রবাহ $=\frac{\text{বর্তনীর E. M. F.}}{\text{বর্তনীর মোট রোধ}}$

উদাহরণ 1. একটি সেলের E. M. F. 2 ভোল্ট এবং আভ্যন্তরিক রোধ 1 ওহ্‌ম। ঐ সেলের বাহিরে 19 ওহ্‌ম রোধের তার যোগ করিলে বর্তনীর প্রবাহ কত হইবে?

$C=\frac{E}{R+r}=\frac{2}{19+1}$ অ্যাম্পিয়ার $=0{\cdot}1$ অ্যাম্পিয়ার

উদাহরণ 2. 1·4 ভোল্ট E. M. F. বিশিষ্ট কোনও সেলের আভ্যন্তরিক রোধ 4 ওহ্‌ম। ঐ সেলকে বাহিরে কত মানের রোধ দ্বারা যুক্ত করিলে বর্তনীতে ·01 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ চলিবে?

প্রশ্নানুসারে, $E=1{\cdot}4$ ভোল্ট, $r=4$ ওহ্‌ম | $C={\cdot}01$ অ্যাম্পিয়ার

$\therefore \quad C=\frac{E}{R+r}$ সূত্রে এই সকল মান বসাইয়া

${\cdot}01=\frac{1{\cdot}4}{R+4}$

বা, $1=\frac{140}{R+4}$, (উভয়পক্ষকে 100 দ্বারা গুণ করিয়া)

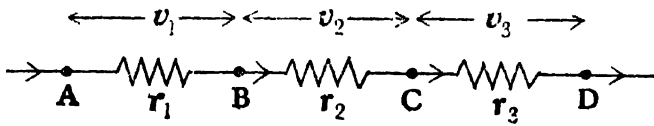
বা, $R+4=140$

বা, $R=136$

$\therefore$ নির্ণেয় রোধ = **136** ওহ্‌ম।

রোধের সম্মিলন (Combination resistances) : বিদ্যুৎ-বর্তনীতে নানাভাবে একাধিক রোধের সংযোগ করা হয়। এই সংযোগ সাধারণত দুইটি রীতিতে করা হয় :

(1) শ্রেণীসজ্জা (Series grouping) ও (2) সমান্তরালসজ্জা (parallel resistance)।

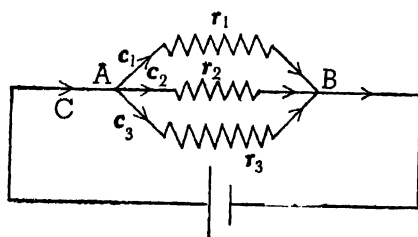
রোধের শ্রেণীসজ্জা : কতকগুলি রোধককে পরপর সাজাইলে তাহাকে শ্রেণীসজ্জা বলে। চিত্রে r_1, r_2 এবং r_3 তিনটি রোধককে শ্রেণীসজ্জায় সংযুক্ত করা হইয়াছে। এই প্রকার সজ্জায় বিদ্যুৎপ্রবাহকে পর পর প্রত্যেকটি রোধ অতিক্রম করিতে হয়। সুতরাং শ্রেণীসজ্জায় সংযুক্ত এই রোধগুলির পরিবর্তে উহাদের মানের সমষ্টির সমান রোধবিশিষ্ট একটি রোধ লওয়া যাইতে

৯৬নং চিত্র : রোধের শ্রেণীসজ্জা

পারে। কতকগুলি রোধের সংযোগে কোনও বর্তনীর মধ্যে যে মোট কার্যকরী রোধের উৎপত্তি হয় তাহাকে উহাদের **রোধ তুল্যাঙ্ক** (Equivalent resistance) বলে। চিত্রে A হইতে B পর্যন্ত সংযুক্ত রোধগুলির তুল্যাঙ্ক R হইলে A হইতে B-এর মধ্যে R রোধবিশিষ্ট একটি রোধক সংযুক্ত করিলে উহা r_1, r_2 এবং r_3 এই তিনটি রোধের শ্রেণীসজ্জার সমান কাজ করিবে।

ওহ্‌মের সূত্র প্রয়োগ করিয়া এই তুল্যাঙ্কের মান নির্ণয় করা যায়। এই শ্রেণীসজ্জার মধ্যে C প্রবাহ চলিলে প্রত্যেক রোধের উভয় প্রান্তের মধ্যে বিভব-পার্থক্য বা P. D. উৎপন্ন হইবে। মনে করা যাক, AB, BC ও CD-র মধ্যে P. D. যথাক্রমে V_1, V_2 এবং V_3 ভোল্ট। এই শ্রেণীসজ্জার দুই প্রান্তের অর্থাৎ A ও D বিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্যের পরিমাণ V হইলে, $V = V_1 + V_2 + V_3$ হইবে। কিন্তু ওহ্‌ম সূত্র অনুসারে :

$V_1 = Cr_1$	কিন্তু $V = V_1 + V_2 + V_3$
$V_2 = Cr_2$	$\therefore \quad CR = Cr_1 + Cr_2 + Cr_3$
$V_3 = Cr_3$	বা $R = r_1 + r_2 + r_3$
$V = CR$	

অতএব শ্রেণীসজ্জায় সংযুক্ত কতকগুলি রোধের তুল্যাঙ্ক রোধগুলির রোধের সমষ্টির সমান।

সমান্তরাল সজ্জা (Parallel grouping of resistances): দুইটি বিন্দুর মধ্যে একাধিক রোধের উভয়প্রান্ত যোগ করিলে রোধগুলির সম্মিলিত বা সমান্তরাল সজ্জা উৎপন্ন হয়। চিত্রে A B বিন্দুর মধ্যে r_1, r_2 এবং r_3 রোধ-

৯৭নং চিত্র : রোধের সমান্তরাল সজ্জা

গুলিকে সমান্তরাল সজ্জায় সংযোগ করা হইয়াছে। মনে করা যাক, এই সমান্তরাল সজ্জায় কোনও বিদ্যুৎ-বর্তনীর মধ্যে সংযোগ করায় বর্তনীর মূল বিদ্যুৎপ্রবাহের মান C এবং এই প্রবাহের জন্য A ও B বিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্যের মান V হইল। C প্রবাহ r_1, r_2 ও r_3 তিনটি শাখায় ভাগ হইয়া যাইবে। মনে করা যাক, ইহাদের মান যথাক্রমে C_1, C_2 এবং C_3. যদি এই সমান্তরালসজ্জার রোধের তুল্যাঙ্ক R হয় তাহা হইলে তিনটি রোধের পরিবর্তে A ও B বিন্দুর মধ্যে R রোধ যোগ করিলেও মূল বর্তনীতে C প্রবাহ চলিবে। সুতরাং ওহ্‌ম সূত্র অনুসারে,

$$C=\frac{V}{R}$$

আবার, r_1, r_2, r_3 ইহাদের প্রত্যেকের উভয় প্রান্তের P. D.-ই V একক।

সুতরাং, $C_1=\frac{V}{r_1}$, $C_2=\frac{V}{r_2}$ এবং $C_3=\frac{V}{r_3}$

কিন্তু $C=C_1+C_2+C_3$

$$\therefore \quad \frac{V}{R}=\frac{V}{r_1}+\frac{V}{r_2}+\frac{V}{r_3}$$

বা $$\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}$$

অতএব **সমান্তরালসজ্জায় সংযুক্ত একাধিক রোধের তুল্যাঙ্কের বিপরীত** (reciprocal) **উহাদের প্রত্যেক রোধের বিপরীতের যোগফলের সমান**। ইহাকে **সমান্তরাল রোধের সূত্র** (Law of parallel resistances) বলে।

উদাহরণ 1. 6 ও 8 ওহ্‌মের দুইটি রোধকে সমান্তরালভাবে সংযুক্ত করিলে উহাদের রোধের তুল্যাঙ্ক কত হইবে ?

এখানে $r_1 = 6$ ওহ্‌ম

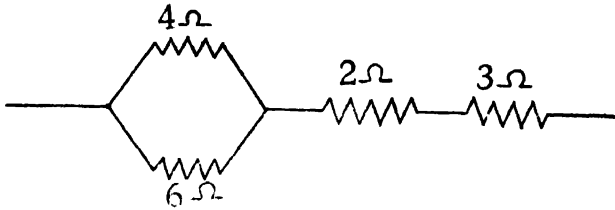
$r_2 = 8$ ওহ্‌ম

সুতরাং, $\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{1}{6} + \frac{1}{8} = \frac{4+3}{24} = \frac{7}{24}$

$\therefore \quad R = \frac{24}{7}$ ওহ্‌ম $= 3\frac{3}{7}$ ওহ্‌ম।

উদাহরণ 2. 4 ওহ্‌ম ও 6 ওহ্‌মের সমান্তরালসজ্জার সহিত 2 ওহ্‌ম এবং 3 ওহ্‌মের দুইটি রোধ শ্রেণীসজ্জায় সংযুক্ত হইল। মোট রোধের তুল্যাঙ্ক কত ?

সমান্তরালসজ্জার তুল্যাঙ্ক R হইলে,

$\frac{1}{R} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{5}{12}, \quad \therefore \quad R = \frac{12}{5} = 2{\cdot}4$

৯৮নং চিত্র

এখন মনে করা যাইতে পারে, R-এর সহিত 2 ওহ্‌ম এবং 3 ওহ্‌ম শ্রেণী-সজ্জায় সংযুক্ত আছে। সুতরাং,

মোট রোধের তুল্যাঙ্ক $= (2{\cdot}4 + 2 + 3)$ ওহ্‌ম$= \mathbf{7{\cdot}4}\ \Omega$

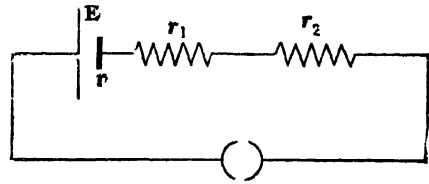
('Ω'-চিহ্নটি ওহ্‌মের প্রতীক।)

উদাহরণ 3. 2 ভোল্ট E. M. F. এবং 1Ω আভ্যন্তরিক রোধ যুক্ত একটি সেলের সহিত 4Ω ও $5{\cdot}9\Omega$ রোধের দুইটি তার শ্রেণীসজ্জায় সংযুক্ত করিলে বর্তনীতে প্রবাহের মান কত হইবে ? প্রত্যেক রোধের উপর P. D. কত হইবে ?

বর্তনীর প্রবাহ $C = \frac{\text{বর্তনীর EMF.}}{\text{বর্তনীর মোট রোধ}} = \frac{2}{4+5{\cdot}9+{\cdot}1}$ অ্যাম্পিয়ার

$= \frac{2}{10}$ অ্যাম্পিয়ার$= \mathbf{0{\cdot}2}$ অ্যাম্পিয়ার।

ওহ্‌ম-সূত্র V=CR অনুসারে,
4Ω রোধের উপর P.D.
$= \cdot 2 \times 4$ ভোল্ট $= 0\cdot 8$ ভোল্ট
এবং $5\cdot 9\Omega$ রোধের উপর P.D.
$= \cdot 2 \times 5\cdot 9$ ভোল্ট $= 1\cdot 18$ ভোল্ট

৯৯নং চিত্র

উদাহরণ 4. $1\cdot 4$ ভোল্ট E.M.F. এবং $1\cdot 1\Omega$ আভ্যন্তরিক রোধ যুক্ত একটি সেলের সহিত সমান্তরাল সজ্জায় সংযুক্ত 4Ω এবং 6Ω দুইটি রোধ সংযুক্ত করিলে বর্তনীতে কত মূল প্রবাহ চলিবে ? দুই রোধের প্রত্যেকটির মধ্যেই বা কত প্রবাহ চলিবে ?

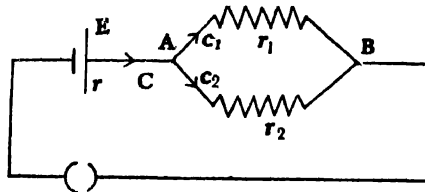
এখানে, সমান্তরালসজ্জার রোধের তুল্যাঙ্ক R ওহ্‌ম হইলে

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{5}{12}; \quad \therefore R = \frac{12}{5} = 2\cdot 4$$

$\therefore$ বর্তনীর মোট রোধ = আভ্যন্তরিক রোধ + বাহ্যিক রোধ

$$= (1\cdot 1 + 2\cdot 4)\Omega = 35\Omega$$

$\therefore$ বর্তনীর মূল প্রবাহ $= \dfrac{\text{বর্তনীর E.M.F.}}{\text{বর্তনীর রোধ}} = \dfrac{1\cdot 4}{3\cdot 5}$ অ্যাম্পিয়ার

$= \frac{2}{5}$ অ্যাম্পিয়ার $= \mathbf{0\cdot 4}$ অ্যাম্পিয়ার।

১০০নং চিত্র

দ্বিতীয়ত, A ও B বিন্দুর মধ্যে রোধের তুল্যাঙ্ক R এবং বিভব-পার্থক্য V হইলে ওহ্‌ম-সূত্র অনুসারে :

$$V = CR = \cdot 4 \times 2\cdot 4 \text{ ভোল্ট} = \cdot 96 \text{ ভোল্ট}$$

এই ·96 ভোল্ট P.D. 4Ω এবং 6Ω উভয় রোধের উপর উৎপন্ন হইয়াছে। সুতরাং প্রত্যেক রোধের উপর পৃথকভাবে ওহ্‌ম-সূত্র প্রয়োগ করিলে,

$$c_1 = \frac{V}{r_1} = \frac{\cdot 96}{4} \text{ অ্যাম্পিয়ার} = \cdot 24 \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

$$c_2 = \frac{V}{r_2} = \frac{\cdot 96}{6} \quad " \quad = \cdot 16 \quad "$$

অথবা $c_2 = 1 - c_1 = \cdot 4 - \cdot 24 = \cdot 16$ "

দুই সমান্তরাল পথে প্রবাহের বণ্টন : যদি C অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ r_1 ও r_2 রোধবিশিষ্ট দুইটি পথে ভাগ হইয়া গিয়া আবার মিলিত হয় তাহা হইলে r_1 ও r_2 রোধ দুইটির মধ্যে প্রবাহের মান কত হইবে? এখানে সমান্তরাল ভাবে সংযুক্ত r_1 ও r_2 রোধ দুইটির তুল্যাঙ্ক R হইলে :

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}=\frac{r_1+r_2}{r_1r_2};\quad\therefore\quad R=\frac{r_1r_2}{r_1+r_2}$$

∴ A ও B বিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্য V হইলে,

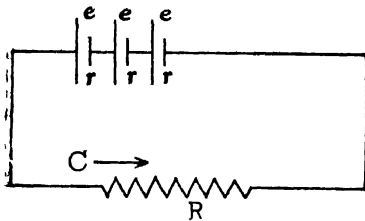
$$V=CR=C.\frac{r_1r_2}{r_1+r_2}$$

এই বিভব-পার্থক্য r_1 এবং r_2 দুইটি রোধেরই উভয় প্রান্তে উৎপন্ন P. D. সুতরাং ওহ্ম-সূত্র অনুসারে :

$$C_1=\frac{V}{r_1}=C\frac{r_1r_2}{r_1+r_2}\times\frac{1}{r_1}=C\frac{r_2}{r_1+r_2}$$

এবং $$C_2=\frac{V}{r_2}=C\frac{r_1r_2}{r_1+r_2}\times\frac{1}{r_2}=C\frac{r_1}{r_1+r_2}$$

∴ $\frac{C_1}{C_2}=\frac{r_2}{r_1}$, অর্থাৎ সমান্তরাল পথ দুইটিতে প্রবাহের মান উহাদের রোধের সহিত ব্যস্ত অনুপাতী।

সেলের শ্রেণীসজ্জা (Series grouping of cells) : কতকগুলি সেলকে পর পর সংযুক্ত করিলে তাহাকে সেলের শ্রেণীসজ্জা বলে। প্রথম সেলের নেগেটিভ মেরু দ্বিতীয় সেলের পজিটিভ মেরুর সহিত, দ্বিতীয় সেলের নেগেটিভ মেরু আবার তৃতীয় সেলের পজিটিভ মেরুর সহিত, এই ভাবে সেলগুলি যোগ করিতে হয়। চিত্রে তিনটি সেলের একটি শ্রেণীসজ্জা দেখান হইয়াছে।

১০১নং চিত্র : সেলের শ্রেণীসজ্জা

মনে করা যাক, প্রত্যেক সেলের ই. এম. এফ. e ভোল্ট এবং আভ্যন্তরিক রোধ r ওহ্ম। বাহিরে R ওহ্ম রোধ-বিশিষ্ট একটি তার যোগ করিয়া বর্তনীটি পূরণ করা হইল। প্রত্যেক সেলের পজিটিভ ও নেগেটিভ মেরুর মধ্যে e ভোল্ট ই. এম. এফ. আছে। কিন্তু প্রথম সেলের নেগেটিভ ও দ্বিতীয় সেলের পজিটিভ এক সঙ্গে যুক্ত আছে এবং দ্বিতীয় সেলের পজিটিভ ও নেগেটিভের মধ্যে ই. এম. এফ. e ভোল্ট। সুতরাং প্রথম

ও দ্বিতীয় সেলের মিলিত ই. এম. এফ.$=(e+e)$ ভোল্ট বা $2e$ ভোল্ট। সুতরাং তিনটি সেলের মিলিত ই. এম. এফ.$=3e$ ভোল্ট।

আবার, সেলগুলি ও বাহিরের রোধ সমস্ত শ্রেণীসজ্জায় সংযুক্ত আছে। সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ$=R+3r$ ওহ্‌ম।

সুতরাং বর্তনীর বিদ্যুৎ-প্রবাহ $C=\dfrac{\text{মোট কার্যকর ই. এম. এফ.}}{\text{মোট কার্যকর রোধ}}$

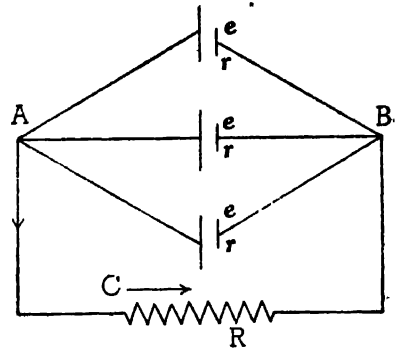
$$=\frac{3e}{R+3r} \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

যদি সেলের সংখ্যা n হয় তাহা হইলে,

$$C=\frac{ne}{R+nr}$$

সেলের সমান্তরালসজ্জা (Parallel grouping of cells) : কতকগুলি সেলের পজিটিভ মেরুগুলি এক সঙ্গে এবং নেগেটিভ মেরুগুলি এক সঙ্গে যোগ করিলে সেলের সমান্তরাল-সজ্জা হয়।

১০২নং চিত্র : সেলের সমান্তরালসজ্জা

মনে করা যাক, e ভোল্ট ই.এম. এফ. এবং r ওহ্‌ম আভ্যন্তরিক রোধবিশিষ্ট তিনটি সেল সমান্তরাল ভাবে যোগ করা হইল। চিত্রে A বিন্দুতে সবগুলি সেলের পজিটিভ মেরু এবং B বিন্দুতে সবগুলি সেলের নেগেটিভ মেরু যোগ করা আছে। অতএব A ও B বিন্দুর মধ্যে কার্যকর ই. এম. এফ.$=$যে কোনও সেলের ই. এম. এফ. অর্থাৎ e ভোল্ট।

সেলগুলি সমান্তরালভাবে সংযুক্ত আছে। উহাদের আভ্যন্তরিক রোধের তুল্যাঙ্ক R_1 ওহ্‌ম হইলে,

$$\frac{1}{R_1}=\frac{1}{r}+\frac{1}{r}+\frac{1}{r}=\frac{3}{r} \quad \therefore \quad R_1=\frac{r}{3}$$

A ও B বিন্দুর মধ্যে বাহ্যিক রোধ R ওহ্‌ম হইলে, বর্তনীর মোট কার্যকর রোধ$=R+R_1=R+\dfrac{r}{3}$

সুতরাং, বর্তনীর প্রবাহ $C = \frac{\text{মোট কার্যকর ই. এম. এফ.}}{\text{মোট কার্যকর রোধ}}$

$$= \frac{e}{R + \frac{r}{3}} \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

সেলের সংখ্যা n হইলে, $C = \frac{e}{R + \frac{r}{n}}$

উদাহরণ 1 : 2 ভোল্ট ই. এম. এফ. এবং ·1 ওহ্‌ম আভ্যন্তরিক রোধবিশিষ্ট 4টি সেল শ্রেণীসজ্জায় সংযুক্ত করিয়া একটি 15·6 ওহ্‌ম রোধবিশিষ্ট তার দ্বারা বাহিরে যুক্ত করা হইল। বর্তনীর প্রবাহ কত হইবে?

প্রশ্নানুসারে,

$e = 2$ ভোল্ট

$n = 4$

$r = {\cdot}1$ ওহ্‌ম

এবং $R = 15{\cdot}6$ ওহ্‌ম

সুতরাং,

$$C = \frac{ne}{R + nr}$$

$$= \frac{4 \times 2}{15{\cdot}6 + 4 \times {\cdot}1} \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

$$= \mathbf{0{\cdot}5} \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

উদাহরণ 2 : 1·4 ভোল্ট ই. এম. এফ. এবং 4·2 ওহ্‌ম আভ্যন্তরিক রোধবিশিষ্ট 3টি সেলকে সমান্তরালভাবে সংযুক্ত করিয়া 5·6 ওহ্‌ম রোধের একটি তার দ্বারা বর্তনী পূরণ করা হইল। বর্তনীর প্রবাহ কত হইবে?

প্রশ্নানুসারে,

$e = 1{\cdot}4$ ভোল্ট

$n = 3$

$r = 4{\cdot}2$ ওহ্‌ম

$R = 5{\cdot}6$ ওহ্‌ম

সুতরাং,

$$C = \frac{e}{R + \frac{r}{n}}$$

$$= \frac{1{\cdot}4}{5{\cdot}6 + \frac{4{\cdot}2}{3}} \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

$$= \frac{1{\cdot}4}{7} \text{ বা } \mathbf{0{\cdot}2} \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

আলোচনা : শ্রেণীসজ্জায় $C = \frac{ne}{R + nr} \cdots \text{(i)}$

এবং সমান্তরাল সজ্জায় $C = \frac{e}{R + \frac{r}{n}} = \frac{ne}{nR + r} \cdots \text{(ii)}$

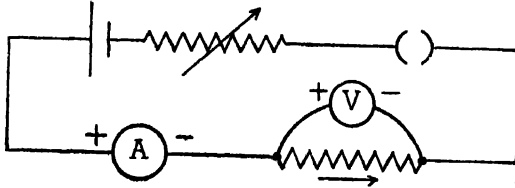
(i) ও (ii) চিহ্নিত সম্বন্ধের দুইটি ভগ্নাংশেরই লব সমান অর্থাৎ ne. সুতরাং ভগ্নাংশ দুইটির মান উহাদের হরের উপর নির্ভর করিবে। হর যত বড় হইবে প্রবাহের মান তত ছোট হইবে। যদি R-এর তুলনায় আভ্যন্তরিক রোধ r বড় হয় তাহা হইলে শ্রেণীসজ্জায় ($R+nr$)-এর মান খুব বড় হইবে; সুতরাং প্রবাহের মান কম হইবে। কিন্তু সমান্তরালসজ্জায় ($nR+r$)-এর মান খুব বড় হইবে না, সুতরাং প্রবাহের মান কম হইবে না। সুতরাং **আভ্যন্তরিক রোধ বাহ্যিক রোধের তুলনায় বড় হইলে সমান্তরালসজ্জা সুবিধাজনক।**

আবার যদি R-এর মান r-এর তুলনায় বড় হয়, তাহা হইলে ($nR+r$)-এর মান খুব বড় হইবে, সুতরাং প্রবাহ কম হইবে। কিন্তু ($R+nr$) খুব বড় হইবে না, সুতরাং প্রবাহ খুব কম হইবে না। অতএব **বাহ্যিক রোধ আভ্যন্তরিক রোধের তুলনায় বড় হইলে শ্রেণীসজ্জা সুবিধাজনক।**

প্রবাহ ও পি. ডি. (P. D.) মাপিবার যন্ত্র

এম্‌মিটার (Ammeter) **:** ইহা বিদ্যুৎপ্রবাহ মাপিবার যন্ত্র। ইহার মধ্যে একটি অশ্বক্ষুরাকৃতি চুম্বকের ক্ষেত্রে একটি তারের কুণ্ডলীকে রাখা হয়। কুণ্ডলীর মধ্যে প্রবাহ চলিলে চৌম্বকক্ষেত্রের ক্রিয়ার ফলে কুণ্ডলীটি ঘুরিয়া যায়। একটি স্প্রিং-এর দ্বারা কুণ্ডলীর ঘূর্ণনকে সংযত করা হয়। প্রবাহের পরিমাণের সহিত ঘূর্ণন সমানুপাতী হয়। কুণ্ডলীর সহিত সংলগ্ন একটি কাঁটা এম্‌মিটারের উপরে ডায়ালের উপরে ঘুরিয়া প্রবাহের পরিমাণ নির্দেশ করে। যন্ত্রের বাহিরে ডায়ালের উপর প্রবাহের সূচক সংখ্যা 1 অ্যাম্পিয়ার, 2 অ্যাম্পিয়ার প্রভৃতি লেখা থাকে। যন্ত্রটি কোনও বর্তনীর (circuit) মধ্যে যোগ করিলে কাঁটার অবস্থান হইতে বর্তনীর প্রবাহের পরিমাণ জানা যায়। কোনও বর্তনীতে সংযুক্ত করিবার জন্য এম্‌মিটারের বাহিরে দুইটি স্ক্রু থাকে। ইহারা ভিতরের কুণ্ডলীর দুই প্রান্তে সংযুক্ত থাকে। সমপ্রবাহ বা ডি. সি. (Direct current) এম্‌মিটারের স্ক্রু দুইটিতে পজিটিভ (+) ও নেগেটিভ (−) চিহ্ন দেওয়া থাকে। বর্তনীতে এম্‌মিটার এমন ভাবে যোগ করিতে হয় যাহাতে পজিটিভ চিহ্নিত স্ক্রু দ্বারা প্রবাহ যন্ত্রে প্রবেশ করে এবং নেগেটিভ চিহ্নিত স্ক্রু হইতে বাহির হয়। এম্‌মিটার যন্ত্রের রোধ খুব কম। সুতরাং ইহা কোনও বর্তনীতে সংযুক্ত করিলে বর্তনীর মোট রোধ প্রায় সমান থাকে। সুতরাং ইহা দ্বারা প্রবাহের পরিমাণ কার্যত অপরিবর্তিত থাকে।

ভোল্টমিটার (Voltmeter) **:** ইহা বিভব-পার্থক্য বা পি. ডি. (P. D.) মাপিবার যন্ত্র। ইহার গঠনও ঠিক এম্‌মিটারেরই মত। কিন্তু

ইহার রোধ খুব বেশী। তারের কুণ্ডলীর সহিত শ্রেণীসজ্জায় একটি খুব উচ্চ রোধবিশিষ্ট তারের কুণ্ডলী সংযুক্ত থাকে। ডি. সি. ভোল্টমিটারের বাহিরের স্ক্রু দুইটিতে + ও − চিহ্ন দেওয়া থাকে। কোনও বর্তনীর যে অংশের বিভব মাপিতে হইবে তাহার উচ্চ বিভব বিন্দুতে + চিহ্নিত স্ক্রু এবং নিম্ন বিভব বিন্দুতে − চিহ্নিত স্ক্রু সংযুক্ত করিতে হয়।

১০৩নং চিত্র : এম্‌মিটার ও ভোল্টমিটারের সংযোগের নিয়ম

কোনও বর্তনীতে এম্‌মিটার ও ভোল্টমিটার সংযোগের নিয়ম ১০৩নং চিত্র হইতে জানা যাইবে। এম্‌মিটার বর্তনীর মধ্যে শ্রেণীসজ্জায় (in series) এবং যে রোধকের (resistance) উপর উৎপন্ন পি. ডি. মাপিতে হইবে ভোল্টমিটার তাহার দুই প্রান্তের সহিত সমান্তরালভাবে যোগ করিতে হয়।

ওহ্‌ম সূত্রের পরীক্ষা (Verification of Ohm's Law) :

ভোল্টমিটার ও এম্‌মিটারের সাহায্যে ওহ্‌ম সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা করা যাইতে পারে। ঠিক উপরের চিত্রের মত একটি সেল, একটি পরিবর্তনীয় রিওষ্টাট, একটি স্থির রোধক এবং এম্‌মিটারটিকে শ্রেণীসজ্জায় (series connection) সংযুক্ত করিয়া একটি বিদ্যুৎ-বর্তনী তৈয়ারী করা হইল। ভোল্টমিটারটি স্থির রোধকের সহিত সমান্তরালভাবে সংযুক্ত করা হইল। রিওষ্টাটের রোধ পরিবর্তন করিয়া বর্তনীতে বিভিন্ন বিদ্যুৎপ্রবাহ চালিত করা যায়। প্রত্যেক বিদ্যুৎপ্রবাহের জন্য স্থির রোধকটির উপর যে P. D. হয় তাহা ভোল্টমিটার দ্বারা এবং প্রত্যেক বারের বিদ্যুৎপ্রবাহের মাত্রা এম্‌মিটার দ্বারা মাপা যায়। মনে করা যাক C_1, C_2, C_3······ইত্যাদি প্রবাহমাত্রার ক্ষেত্রে যথাক্রমে V_1, V_2, V_3······ইত্যাদি P. D. হইল। এখন দেখা যায় :

$\frac{V_1}{C_1}=\frac{V_2}{C_2}=\frac{V_3}{C_3}\cdots\cdots=$ ধ্রুবক লব্ধ ফল ওহ্‌ম সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করিতেছে।

॥ সারাংশ ॥

ওহ্‌ম সূত্র (Ohm's Law) : নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোনও বিদ্যুৎ-বর্তনীর এক বিন্দু হইতে অন্য বিন্দু পর্যন্ত উৎপন্ন বিভব পার্থক্য (বা P. D.) এবং ঐ বর্তনীর বিদ্যুৎপ্রবাহ পরস্পর সমানুপাতী। দুইটি বিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্য V এবং বিদ্যুৎপ্রবাহ C হইলে V=RC. R-কে পরিবাহীর **রোধ** (resistance) বলা হয়।

$$C = \frac{V \text{ (ভোল্ট)}}{R \text{ (ওহ্‌ম)}}$$

আপেক্ষিক বা **বিশিষ্ট রোধ** (Specific resistance) : একক প্রস্থচ্ছেদ ও একক দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট কোন পরিবাহীর রোধকে উহার উপাদানের আপেক্ষিক রোধ বলে।

একটি সেলযুক্ত বর্তনীতে প্রবাহ $I = \frac{E}{R+r}$ R=বাহ্যিক রোধ, এবং r =আভ্যন্তরিক রোধ। শ্রেণীসজ্জায় রোধের তুল্যাঙ্ক $R = r_1 + r_2 + r_3 + \cdots\cdots$

সমান্তরালসজ্জায় রোধের তুল্যাঙ্ক R হইলে, $\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \cdots\cdots$

শ্রেণীসজ্জায় (series grouping) সংযুক্ত বর্তনীর প্রবাহ

$$C = \frac{ne}{R + nr}$$

সমান্তরালসজ্জায় (Parallel grouping) সংযুক্ত বর্তনীর প্রবা

$$C = \frac{e}{R + \frac{r}{n}} = \frac{ne}{nR + r}$$

অনুশীলনী

1. *State Ohm's law and deduce the relation* V=RC. *Explain what you mean by resistance. When a current of 2 amperes passes through a resistance, the* P. D. *developed across its ends is* 100 *volts. What is the value of the resistance ?*

2. *A cell of* E. M. F. 2 *volts and internal resistance* 0·1 *ohm is connected with a wire of* 7·9 *ohm resistance. What current will be flowing through the wire and what will be the* P. D. *across it ?*

3. *A cell of* E. M. F. 1·4 *volts and internal resistance* 4·6 *Ohm is connected in series with two resistances* 5Ω *and* 4·4Ω *respectively. Find the current through the circuit and the* P. D. *across each resistance.*

4. *Obtain the law of parallel resistances. Calculate the equivalent resistance of* 6Ω, 8Ω *and* 9Ω *connected in parallel.*

5. *Two wires of resistances* 2Ω *and* 3Ω *are connected in parallel and the parallel combination connected in series with another wire of resistance* 2·8 Ω, *a cell of* E. M. F. 2 *volts and a plug key. Draw the circuit diagram and calculate the current through each wire, neglecting the internal resistance of the cell.*

6. E. M. F. *and internal resistance of a cell are* 2·1 *volts and* 0·2 *Ohm respectively. What external resistance must be connected with it so as to send a current of* 0·3 *amp. through the circuit ?*

7. *When an electric lamp is connected across a* 220 *volts main, a current of* 0·5 *ampere passes through it. What is the resistance of the hot lamp filament ?*

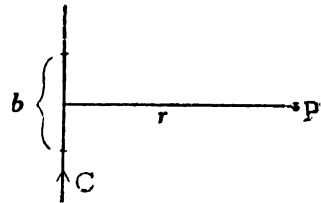
8. *Three Leclanche cells each of e. m. f.* 1·4 *volts and internal resistance* 4·5 *Ohms are cannected in parallel and the circuit is completed through a wire of* 3 *Ohm resistance. Find the current through the circuit. What will be the current if you connect thc cells in series ?*

9. *Four cells each of e. m. f.* 2 *volts and internal resistance* 0·1 *Ohm are connected in series and the circuit is completed through two wires in series of resistances* 4 *Ohms and* 1·6 *Ohms respectively, calculate the* P. D. *across each external resistance.*

ট্যান্‌জেণ্ট গ্যালভানোমিটার

[Tangent Galvanometer]

লাপ্লাসের সূত্র (Laplace's law) : সামান্য দৈর্ঘ্যের কোনও বিদ্যুৎবাহী তারের জন্য উহার চারিপাশে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনও বিন্দুতে ক্ষেত্রের প্রাবল্য (intensity of the field) বিদ্যুৎ-প্রবাহ ও তারের দৈর্ঘ্যের গুণফলের সহিত সমানুপাতী এবং তার হইতে বিন্দুর লম্বদূরত্বের বর্গের ব্যস্ত অনুপাতী হয়।

১০৪নং চিত্র : লাপ্লাসের সূত্রের রেখাচিত্র

b কোনও পরিবাহী তারের ক্ষুদ্র অংশ, C ঐ তারের মধ্যে প্রবাহের পরিমাণ এবং r ঐ ক্ষুদ্র অংশ হইতে কোনও বিন্দু P এর দূরত্ব, এবং P বিন্দুর ক্ষেত্র প্রাবল্য (অর্থাৎ P বিন্দুতে অবস্থিত একক চৌম্বক মেরুর উপর প্রযুক্ত বল) F হইলে, পূর্বোক্ত সূত্র অনুসারে :

$$F \propto \frac{Cb}{r^2}$$

$$\therefore \quad F = \frac{K.Cb}{r^2}$$

[এখানে b দৈর্ঘ্যকে ক্ষুদ্র লইবার কারণ দৈর্ঘ্য ক্ষুদ্র হইলে উহার সর্বত্র P বিন্দুর লম্ব দূরত্ব r ধরা যাইতে পারে।]

যখন K একটি ধ্রুবক।.........(i)

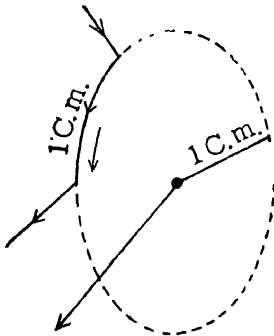
এখন বিদ্যুৎপ্রবাহের একক এমনভাবে নির্বাচন করা যায় যাহাতে K=1 হয়। যদি মনে করা যায়, যখন $b=1$ *c. m.*, $r=1$ *c. m.*, এবং F=1 dyne, তখন $C=1$, তাহা হইলে (i) চিহ্নিত সূত্রে এই সকল মান প্রয়োগ করিয়া :

$$1 = \frac{K.1.1}{1^2} \text{ ; অথবা } K=1$$

অতএব আমাদের প্রবাহের একক নির্বাচন অনুসারে,

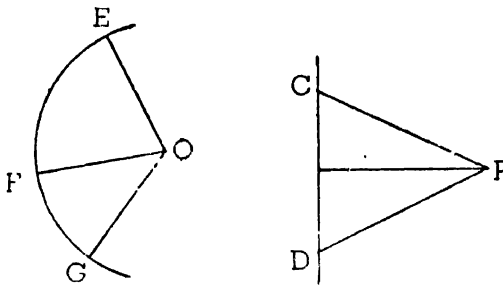
$$F = \frac{Cb}{r^2} \quad \cdots\cdots\cdots \text{(ii)}$$

বিদ্যুৎপ্রবাহের এই একককে বিদ্যুৎ-চৌম্বক একক বা ইলেকট্রোম্যাগনেটিক ইউনিট (Electromagnetic unit) বা সংক্ষেপে *E.M.U.* বলা হয়। সুতরাং *E.M.U.*-র এইরূপ সংজ্ঞা নির্দেশ করা যায় :

সংজ্ঞা : এক সে.মি. দীর্ঘ কোনও পরিবাহী এক সে.মি. ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট কোনও বৃত্তের চাপের আকারে অবস্থিত হইলে, ঐ তারের মধ্যে চালিত যে প্রবাহ ঐ বৃত্তের কেন্দ্রে একক চৌম্বক মেরুর উপর এক ডাইন বল প্রয়োগ করে তাহাকে ইলেকট্রো-ম্যাগনেটিক একক (E.M.U.) **প্রবাহ বলে।**

১০৫ নং চিত্র

প্রবাহের ব্যবহারিক একক **1 অ্যাম্পিয়ার** $=\frac{1}{10}\ E.M.U.$

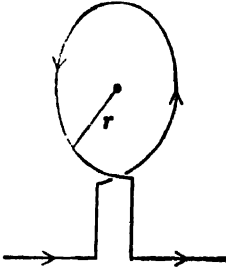
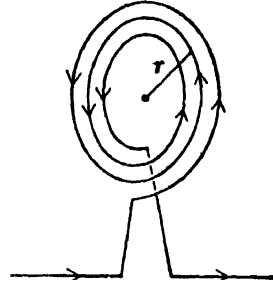
সুতরাং **1** $E.\ M.\ U.$ **= 10 অ্যাম্পিয়ার,**

[কোনও দীর্ঘ তার লইলে কোনও বিন্দু হইতে তাহার দূরত্ব সর্বত্র সমান হয় না। উদাহরণস্বরূপ চিত্রে CD তারটির বিভিন্ন বিন্দুর সহিত P বিন্দুটি যোগ করিলে সরল রেখাগুলি সমান হয় না। কিন্তু তারটি বৃত্তাকারে অবস্থিত হইলে ঐ বৃত্তের কেন্দ্র হইতে তারটির প্রত্যেক বিন্দু সমদূরবর্তী হয়—কারণ বৃত্তের কেন্দ্র হইতে পরিধি পর্যন্ত অঙ্কিত রেখাগুলি ঐ বৃত্তের ব্যাসার্ধ।

১০৬নং চিত্র

কোনও বৃত্তের ব্যাসার্ধ উহার পরিধিকে যে বিন্দুতে ছেদ করে ঐ বিন্দুর কাছে সামান্য দৈর্ঘ্যের বৃত্তচাপের সহিত ব্যাসার্ধটিকে লম্ব মনে করা যায়। সামান্য দৈর্ঘ্যের বৃত্তচাপকে সরলরেখা মনে করা যাইতে পারে। চিত্রে OE, OF, OG ব্যাসার্ধগুলিকে যথাক্রমে E, F ও G বিন্দুর কাছাকাছি পরিধির ক্ষুদ্র অংশের সহিত লম্ব মনে করা যায়। সুতরাং দেখা যাইতেছে, বৃত্তাকার কোনও দীর্ঘ তার লইলেও, উহার সর্বত্র লাপ্লাসের সূত্র প্রয়োগ করা যায়। এইজন্য লাপ্লাসের সূত্র প্রয়োগে প্রবাহের একক নির্বাচনের সময়ে বৃত্তাকার পরিবাহী লওয়া হয়।]

বৃত্তাকার তারের কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক প্রাবল্য (Magnetic intensity at the centre of a circular coil) **:** লাপ্লাসের সূত্র

(অর্থাৎ $F = \frac{Cb}{r^2}$) প্রয়োগ করিলে কোনও বৃত্তাকার পরিবাহীর কেন্দ্রে চৌম্বক প্রাবল্য পাওয়া যাইবে। এক্ষেত্রে পরিবাহীর দৈর্ঘ্য $b =$ বৃত্তের পরিধি $= 2\pi r$.

$$\text{সুতরাং } F = \frac{C \times 2\pi r}{r^2} = \frac{2\pi C}{r}$$

১০৭নং চিত্র ১০৮নং চিত্র

n-সংখ্যক পাক (turn)-বিশিষ্ট একটি তারের কুণ্ডলী লইলে উহার প্রত্যেক পাকের জন্য কেন্দ্রে যে চৌম্বক প্রাবল্য হয় তাহার সমষ্টিই কুণ্ডলীর জন্য প্রাবল্য হইবে। তারের পাকগুলি একটির উপর আর একটি জড়ানো থাকায় সবগুলি পাকের ব্যাসার্ধ সমান নয়। সুতরাং, এক্ষেত্রে কুণ্ডলীর গড় ব্যাসার্ধ লইতে হইবে। গড় ব্যাসার্ধ r হইলে, প্রতিপাকের গড় দৈর্ঘ্য $= 2\pi r$.

সুতরাং, পরিবাহীর মোট দৈর্ঘ্য $= 2\pi rn$.

$$\therefore \text{ লাপ্লাসের সূত্র অনুসারে, } = \frac{C.2\pi nr}{r^2}$$

$$\text{বা } F = \frac{2\pi nC}{r} \ldots\ldots\ldots\ldots$$

দ্রষ্টব্য : এই সূত্রে r সেন্টিমিটারে এবং C, *E. M. U.*-তে প্রকাশিত হওয়া প্রয়োজন। তাহা হইলে F এর মান C. G. S. এককে বা ওয়রস্টেডে (oersted) প্রকাশিত হইবে।

পূর্বের অধ্যায়ে বলা হইয়াছে কোনও বৃত্তাকার পরিবাহী বা তারের কুণ্ডলীর কেন্দ্র অঞ্চলে চৌম্বক ক্ষেত্র সুষম এবং অপেক্ষাকৃত প্রবল হয়। (iii) সংখ্যক সূত্র হইতে ঐ সুষম ক্ষেত্রের প্রাবল্যের পরিমাণ পাওয়া যাইতেছে।

উদাহরণ 1. কোনও তারের কুণ্ডলীর গড় ব্যাসার্ধ 11 সি. মি. এবং পাকসংখ্যা 42. ঐ তারের মধ্যে 2 *E. M. U.* বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিলে কেন্দ্রের চৌম্বক প্রাবল্য কত হইবে ?

$$F=\frac{2\pi nc}{r}=\frac{2\times\frac{22}{7}\times 42\times 2}{11} \text{ Oersted}=48 \text{ Oersted.}$$

উদাহরণ 2. 5·5 সে. মি. গড় ব্যাসার্ধবিশিষ্ট কোনও কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 35. ঐ তারের মধ্যে 10 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ চলিলে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে 4 সি. জি. এস. একক চৌম্বক মেরুর উপর কত বল প্রযুক্ত হইবে।

10 অ্যাম্পিয়ার $=1$ *E. M. U.*

সুতরাং একক মেরুর উপর প্রযুক্ত বল $=\frac{2\pi nc}{r}$

$$=\frac{2\times\frac{22}{7}\times 35\times 1}{5\cdot 5} \text{ ডাইন}$$

$=40$ ডাইন

সুতরাং, নির্ণেয় প্রযুক্ত বল $=4\times 40$ ডাইন $=$ **160** ডাইন।

উদাহরণ 3. কোনও কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 28 এবং গড় ব্যাসার্ধ 4·4 সে. মি.; উহার মধ্যে প্রবাহ চালনা করায় কেন্দ্রে ক্ষেত্রের প্রাবল্য 25 ওয়রস্টেড হইল। প্রবাহের মান কত অ্যাম্পিয়ার ?

প্রশ্নানুসারে, $n=28$

$r=4\cdot 4$ সে. মি.

$F=25$ একক

সুতরাং $F=\frac{2\pi nc}{r}$ সূত্রে

$$25=\frac{2\times\frac{22}{7}\times 28\times c}{4\cdot 4}$$

বা $c=0\cdot 625$ *e. m. u.* $=10\times\cdot 625$ অ্যাম্পিয়ার

$=$ **6·25** অ্যাম্পিয়ার।

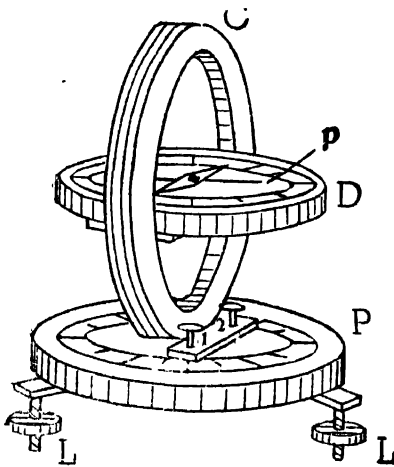
গ্যালভানোস্কোপ (Galvanoscope): যে যন্ত্রের দ্বারা কোনও পরিবাহী তারে বিদ্যুৎপ্রবাহ আছে কিনা পরীক্ষা করা যায়, তাহাকে গ্যাল-ভানোস্কোপ বলে। একটি তারের কুণ্ডলীতে প্রবাহ চালাইলে উহার মাঝখানে চৌম্বক ক্ষেত্রের উৎপত্তি হয়। যদি ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রে কোনও চুম্বক শলাকাকে রাখা যায় তাহা হইলে শলাকার বিক্ষেপ (deflection) হইবে অর্থাৎ উহা চৌম্বক মধ্যতল (meridian) হইতে ঘুরিয়া যাইবে। যদি কুণ্ডলীটিকে চৌম্বক মধ্যতলের সহিত সমান্তরালভাবে রাখা যায় তাহা হইলে উহার দ্বারা উৎপন্ন ক্ষেত্র চৌম্বক মধ্যতলের সহিত সমকোণে অবস্থিত হইবে এবং চুম্বক শলাকার

বিক্ষেপও বেশী হইবে। এই কুণ্ডলী দ্বারা কোনও তার প্রবাহের অস্তিত্ব সম্বন্ধে পরীক্ষা করা যায়। সুতরাং ইহাকে একপ্রকার গ্যালভানোস্কোপ বলা যাইতে পারে। কুণ্ডলীটি বৃত্তাকার বা আয়তাকার হইতে পারে।

১০৯নং চিত্র : গ্যালভানোস্কোপ

গ্যালভানোমিটার (Galvanometer) : যে যন্ত্রের দ্বারা কোনও পরিবাহী তারের মধ্যে প্রবাহের পরিমাণ মাপা যায় তাহাকে গ্যালভানোমিটার বলে। সাধারণ গ্যালভানোমিটার প্রস্তুতের মূলনীতিও পূর্বোক্ত গ্যালভানোস্কোপ-এর মতো। কেবল বিক্ষেপ হইলেই বলা যায় তারে প্রবাহ আছে। কিন্তু বিক্ষেপের পরিমাণ হইতে প্রবাহের পরিমাণ গ্যালভানোমিটারের দ্বারা নির্ণয় করা যায়।

ট্যানজেণ্ট্ গ্যালভানোমিটার

বর্ণনা : C : সরু ও অন্তরিত (insulated) তামার তারে অনেকগুলি পাক দিয়া নির্মিত একটি কুণ্ডলী। ইহা ঊর্ধ্বাধ অবস্থায় থাকিয়া অক্ষের উপর ঘুরিতে পারে।

কুণ্ডলীর তারের দুইটি প্রান্ত দুইটি স্ক্রু-র সহিত সংযুক্ত থাকে।

P : একটি কাঠের পাটাতন (platform)। L, L, L, **তিনটি লেভেল** স্ক্রু-এর উপর পাটাতনটি অবস্থিত।

D : একটি চক্র (Disc)। ইহা C কুণ্ডলীর কেন্দ্রগামী অনুভূমিক তলে অবস্থিত। ইহার কেন্দ্রে একটি ছোট চুম্বকশলাকা পিভটবিন্দুর উপর স্থাপিত (বা রেশমের পাকহীন সুতার দ্বারা ঝুলানো) থাকে। একটি দীর্ঘ এলুমিনিয়ামের সূচক

১১০নং চিত্র : ট্যানজেণ্ট গ্যালভানোমিটার

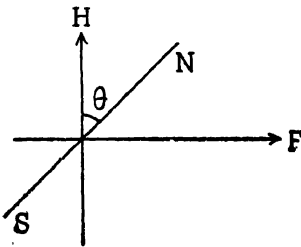
(pointer) pp-কে চুম্বকের মধ্যস্থলে চুম্বকের সহিত সমকোণে রাখিয়া ঝালাই করিয়া দেওয়া হয়।

D চক্রটিকে চারটি পাদে (Quadrant) ভাগ করিয়া প্রত্যেক পাদ ডিগ্রিতে অর্থাৎ 0° হইতে 90° পর্যন্ত ভাগ করা থাকে।

নির্ভুলভাবে সূচকের অবস্থান জানিবার জন্য চক্রটির বৃত্তাকার স্কেলের পাশে বৃত্তচাপের আকারের দুইফালি সমতল দর্পণ থাকে।

প্রারম্ভিক সংস্থান (Preliminary adjustment): ব্যবহারের পূর্বে যন্ত্রটির কিছু প্রারম্ভিক সংস্থান করিয়া লইতে হয়। (1) প্রথমে লেভেল স্ক্রুগুলির সাহায্যে পাটাতনটিকে অনুভূমিক করিতে হইবে। তাহা হইলে কুণ্ডলীটি ঠিক উর্ধ্বাধ অবস্থায় আসিবে। (2) দ্বিতীয়ত, কুণ্ডলীটি ঘুরাইয়া উহার তলকে চৌম্বক মধ্যতলে (magnetic meridian) আনিতে হইবে। এই অবস্থায় *pp* সূচকটির দুই প্রান্ত স্কেলের 0°, 0° দাগ থাকা উচিত। না থাকিলে চক্রটি ঘুরাইয়া 0°, 0° দাগ দুইটিকে *pp*-এর দুই প্রান্তের সহিত মিলাইয়া দিতে হইবে।

[কুণ্ডলীর কেন্দ্রের কাছে সংকীর্ণ স্থানে উহার চৌম্বক ক্ষেত্র সুষম হয়। যাহাতে চুম্বকটির দুইটি মেরুই এই সুষম ক্ষেত্রে থাকিতে পারে সেইজন্য চুম্বকটি ছোট লওয়া হয়। ছোট চুম্বকের ভর কম হওয়ায় উহার বিক্ষেপও বেশী হয় এবং গ্যালভানোমিটারের সূক্ষ্মতা বেশী হয়। চুম্বকের সহিত সংলগ্ন সূচকটি বড় হওয়ায়, বড় আকারের বৃত্তাকার স্কেলের উপর উহার দুইটি প্রান্ত ঘুরিতে পারে। ইহাতেও চুম্বকের বিক্ষেপ মাপায় ভুল কম হয়। সূচকটি চুম্বকের সহিত সমকোণে দৃঢ়ভাবে সংলগ্ন থাকায়, চুম্বকটি যতখানি ঘোরে, সূচকও নিশ্চয় ততখানি ঘুরিবে।]

মূলনীতি: প্রারম্ভিক সংস্থানের পর কুণ্ডলীর দুইপ্রান্ত কোনও বর্তনীতে যোগ করিলে উহার মধ্যে একটি বিদ্যুৎ-প্রবাহ চলিবে। এই প্রবাহের জন্য কুণ্ডলীর কেন্দ্রের কাছে উহার তলের সহিত লম্বভাবে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন হইবে। ইহা ছাড়া কুণ্ডলীটি এখন চৌম্বক মধ্যতলে থাকায় উহার তলের সহিত সমান্তরালভাবে পৃথিবীর চুম্বকক্ষেত্রও রহিয়াছে। এই দুইটি চুম্বকক্ষেত্র একসঙ্গে D-চক্রে স্থাপিত চুম্বকটির দুই মেরুর উপর ক্রিয়া করিতেছে। প্রত্যেকটি ক্ষেত্রে উহার সহিত চুম্বককে সমান্তরাল করিবার চেষ্টা করিবে। কিন্তু দুইটি ক্ষেত্রের সম্মিলিত ক্রিয়ার জন্য দুইটি ক্ষেত্রের মাঝামাঝি কোনও অবস্থানে চুম্বকটি স্থিতি (Equilibrium) অবস্থায় থাকিবে।

১১১নং চিত্র

মনে করা যাক, ভূ-চুম্বকের ক্ষেত্রের প্রাবল্য=H সি. জি. এস.* একক, কুণ্ডলীর কেন্দ্রের চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য=F সি. জি. এস. একক এবং স্থিতি অবস্থায় চুম্বকটি চৌম্বক মধ্যতলের সহিত θ কোণে আনত।

তাহা হইলে দেখানো যায়ঃ

$F = H \tan\theta$

কিন্তু, $F = \frac{2\pi nC}{r}$, যখন n=কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা, C=কুণ্ডলীর মধ্য ইলেকট্রোম্যাগনেটিক এককে প্রবাহের পরিমাণ এবং r=কুণ্ডলীর গড় ব্যাসার্ধ।

সুতরাং, $\frac{2\pi nC}{r} = H \tan\theta$

$$\text{বা,} \quad C = \frac{H}{\frac{2\pi n}{r}} \tan\theta \; e.m.u. \cdots\cdots \text{(i)}$$

$\frac{2\pi n}{r}$ রাশিটি গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা n এবং গড় ব্যাসার্ধ r-এর উপর নির্ভর করে। এইজন্য ইহাকে গ্যালভানোমিটার ধ্রুবক (Galvanometer constant) G বলা হয়। সুতরাং,

$$C = \frac{H}{G} \tan\theta \; (e.m.u.) = K \tan\theta \; (e.m.u.) \cdots\cdots \text{(ii)}$$

$$K = \frac{H}{G} \text{ লিখিয়া}$$

কোনও নির্দিষ্ট স্থানে H-এর মান ধ্রুবক। সুতরাং $\frac{H}{G}$-কেও ঐ নির্দিষ্ট স্থানে আলোচ্য গ্যালভানোমিটারের জন্য একটি ধ্রুবক বলা যায়। ইহাকে K অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং গ্যালভানোমিটারের নির্ণায়ক রাশি (Reduction Factor) বলা হয়। কারণ $\tan\theta$-কে K দ্বারা গুণ করিলে প্রবাহের মান নির্ণীত হয়।

অবার, $1 \; e.m.u. = 10$ অ্যাম্পিয়ার

$$\therefore \quad C = 10K \tan\theta \text{ অ্যাম্পিয়ার} \cdots\cdots \text{(iii)}$$

$$= 10\frac{H}{G} \tan\theta \text{ অ্যাম্পিয়ার} = \frac{10Hr}{2\pi n} \tan\theta \text{ অ্যাম্পিয়ার} \cdots \text{(iv)}$$

* ইহা ভূ-চুম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ বা Horizontal Component.

উদাহরণ 1. কোনও স্থানের ভূ-চুম্বকের ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ (component) H-এর মান 0·36 সি. জি. এস. একক। একটি ট্যানজেণ্ট গ্যালভানোমিটারের ধ্রুবক G=20 সি. জি. এস. একক। ঐ গ্যালভানোমিটারে কোনও প্রবাহ চালিত হওয়ায় উহার কাঁটার 45° বিক্ষেপ (deflection) হইল। প্রবাহের মান কত অ্যাম্পিয়ার ?

$$C = 10\,\frac{H}{G}\tan\theta \text{ অ্যাম্পিয়ার} = 10 \times \frac{\cdot 36}{20}\tan 45^\circ \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$
$$= \cdot 18 \text{ অ্যাম্পিয়ার।}$$

উদাহরণ 2. .একটি ট্যানজেণ্ট গ্যালেভানোমিটারের মধ্যে ·5 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ চলায় উহার 60° বিক্ষেপ হইল। ঐ গ্যালভানোমিটারের 30° বিক্ষেপ হইলে প্রবাহের মান কত ?

$$C = 10K\tan\theta$$

∴ প্রথমত, $0{\cdot}5 = 10K\tan 60^\circ = 10K\sqrt{3}$

$$\therefore \quad K = \frac{0{\cdot}5}{10\sqrt{3}} = \frac{1}{20\sqrt{3}} \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

সুতরাং দ্বিতীয়ত, $C = 10K\tan\theta$ অ্যাম্পিয়ার

$$= 10 \times \frac{1}{20\sqrt{3}}\tan 30^\circ \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$
$$= \frac{1}{2\sqrt{3}} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$
$$= \cdot 166 \text{ অ্যাম্পিয়ার (প্রায়)}$$

উদাহরণ 3. একটি ট্যানজেণ্ট গ্যালভানোমিটারের গড় ব্যাসার্ধ 11 সে.মি. এবং পাকসংখ্যা 70 ; উহার ভিতর কোনও প্রবাহ চলায় কাঁটার বিক্ষেপ 45° হইল। আলোচ্য স্থানের H=·4 সি. জি. এস. একক হইলে প্রবাহের মান কত ?

পূর্বের (iv) নং সূত্র অনুসারে,

$$C = \frac{10Hr}{2\pi n}\tan\theta \text{ অ্যাম্পিয়ার} = \frac{10 \times \cdot 4 \times 11}{1 \times \frac{22}{7} \times 70}\tan 45^\circ \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$
$$= \frac{1}{10} \times 1 \text{ অ্যাম্পিয়ার} = 0{\cdot}1 \text{ অ্যাম্পিয়ার।}$$

সারাংশ

অ্যাম্পিয়ারের সূত্র : l সে. মি. সামান্য দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট তারের বিদ্যুৎপ্রবাহ C হইলে উহা হইতে r সে. মি. লম্বদূরত্বে অবস্থিত বিন্দুর চৌম্বক ক্ষেত্র :

$$F = \frac{Klc}{r^2}, \qquad \text{যখন } K = \text{ধ্রুবক।}$$

প্রবাহের বিদ্যুৎ-চৌম্বক একক (e. m. u): এক সে. মি. দীর্ঘ কোনও পরিবাহী এক সে. মি. ব্যাসার্ধবিশিষ্ট কোনও বৃত্তের চাপের আকারে অবস্থিত হইলে, ঐ তারের মধ্যে চালিত যে প্রবাহ ঐ বৃত্তের কেন্দ্রে একক চৌম্বক মেরুর উপর এক ডাইন বল প্রয়োগ করে তাহাকে প্রবাহের বিদ্যুৎ-চৌম্বক একক বা ইলেকট্রোম্যাগনেটিক একক (e. m. u.) বলে।

r সে. মি. গড় ব্যাসার্ধ, n সংখ্যক পাক-বিশিষ্ট কোনও কুণ্ডলীর তারে প্রবাহের পরিমাণ C সি. জি. এস. একক হইলে, ঐ কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের পরিমাণ $F=\frac{2\pi nc}{r}$.

গ্যালভানোমিটার দ্বারা প্রবাহ মাপা হয়। কোনও **ট্যানজেণ্ট গ্যাল-ভানোমিটারের** (Tangent galvanometer) কুণ্ডলীর প্রবাহ c, পাকসংখ্যা n, গড় ব্যাসার্ধ r সে. মি., এবং চুম্বকের বিক্ষেপ কোণ (deflection) θ হইলে,

$$C=\frac{H}{\frac{2\pi n}{r}}\tan\theta \text{ e. m. u.}=\frac{H}{G}\tan\theta \text{ e. m. u.}$$

$$=K\tan\theta \text{ e. m. u.}=10\,K\tan\theta \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

K = গ্যালভানোমিটারের নির্ণায়ক রাশি (Reduction Factor).

অনুশীলনী

1. *State Ampere's Law of magnetic field due to a Conductor carrying current. Define electromagnetic unit of current. What is the practical unit of current? How are the two units related?*

2. *Show that the field at the centre of a circular coil of n turns of wire of mean radius r c. m., through which a current of c e.m.u. is passing is given by* $F=\frac{2\pi uc}{r}$ C. G. S. *units.*

3. *A coil is of 42 turns and mean radius 5·5 c. m. What will be the intensity of the magnetic field at its centre when a*

current of 1 ampere will pass through the coil? What force will be exerted on a pole of strength 10 C. G. S. *units placed at the centre of the coil?*

4. What is the difference between a galvanoscope and a galvanometer? On what principle do they commonly work?

5. Describe a tangent galvanometer with a line diagram. What are its adjustments? Explain the simple theory of this galvanometer.

6. When a current of 1 ampere passes through a tangent galvanometer, it gives a deflection of 60°. What will be the value of the current when the deflection is 45°?

7. The reduction factor of a tangent galvanometer is 0·2 e. m. u. of current. What current will produce a deflection of 30° in the galvanometer? What will be the deflection when a current of 2 amperes passes through it?

8. The number of turns of a tangent galvanometer are 35 and the mean radius of its coil is 8·25 c.m. If H = ·35 *for the place, what deflection will be produced in this galvanometer by a current of 2 amperes?*

দ্বাদশ অধ্যায়

বিদ্যুৎপ্রবাহ ও তাপ

[Electric current and heat]

বিদ্যুৎপ্রবাহের ফলে তাপের উৎপত্তি (Generation of heat by electricity) : পরিবাহী তারে বিদ্যুৎপ্রবাহ সৃষ্টি করিলে তারটি গরম হইয়া উঠে। ইলেকট্রিক হীটার (electric heater), ইলেকট্রিক ইস্ত্রি (electric iron) প্রভৃতিতে উৎপন্ন তাপের কারণ বিদ্যুৎপ্রবাহ। পরিবাহী তারে উৎপন্ন তাপ ও বিদ্যুৎপ্রবাহের পরস্পর সম্পর্ক বিজ্ঞানী ডাঃ জুল (Dr. Joule) পরীক্ষা-দ্বারা নির্ণয় করেন। তাঁহার পরীক্ষালব্ধ ফলগুলিকে কয়েকটি সূত্রের আকারে প্রকাশ করা হইয়া থাকে। এই সূত্রগুলিকে **'জুলের সূত্র'** (Joule's laws) বলে। পরিবাহী তারে বিদ্যুৎপ্রবাহ দ্বারা তাপ উৎপাদনকে 'জুলীয় তাপন' (Joule heating) বলে।

জুলের সূত্র (Joule's laws) :

1. **পরিবাহী তারের রোধ (R) ও বিদ্যুৎপ্রবাহের সময় (t) অপরিবর্তিত থাকিলে তারে উৎপন্ন তাপ (H) বিদ্যুৎপ্রবাহের মানের (C) বর্গের সমানুপাতী।**

অর্থাৎ $H \propto C^2$ (যখন R ও t অপরিবর্তিত)।

2. **বিদ্যুৎপ্রবাহের মান** (magnitude of eletric current) **ও প্রবাহকালের সময় অপরিবর্তিত থাকিলে তারে উৎপন্ন তাপ পরিবাহী তারের রোধের** (resistance) **সমানুপাতী।**

অর্থাৎ $H \propto R$ (যখন c ও t অপরিবর্তিত)।

3. **বিদ্যুৎপ্রবাহের মান ও পরিবাহী তারের রোধ অপরিবর্তিত থাকিলে উৎপন্ন তাপ প্রবাহকালের অবকাশের সমানুপাতী।:**

অর্থাৎ $H \propto t$ (যখন C ও R অপরিবর্তিত)।

পূর্বোক্ত সূত্র তিনটিকে পরপৃষ্ঠায় লিখিত সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যাইতে পারে।

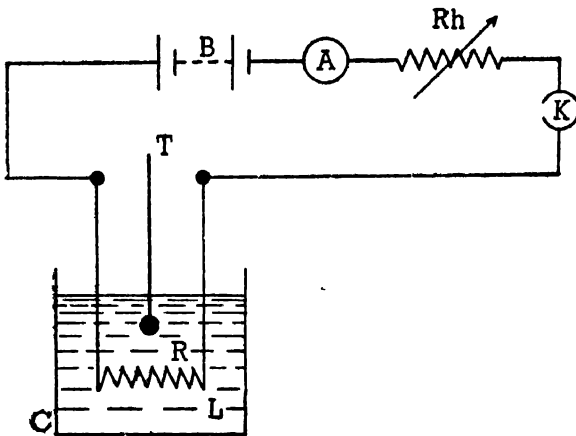
$H=K.C^2Rt$ (যখন K একটি ধ্রুবক) ·····(1)

বিদ্যুৎপ্রবাহের মান C-কে অ্যাম্পিয়ারে (ampere), রোধ R-কে ওহ্‌মে (Ohm), সময় t-কে সেকেণ্ডে এবং উৎপন্ন তাপ H-কে ক্যালরিতে (calorie) প্রকাশ করিলে এই ধ্রুবক K-এর মান হয় $\frac{1}{4{\cdot}2 \text{জুল}}$.

আমরা জানি, 4·2 জুল কার্যের পরিবর্তে 1 ক্যালরি তাপ পাওয়া যায়। সুতরাং পূর্বোক্ত সমীকরণে C^2Rt কোনও কার্যের পরিমাণ বুঝাইতেছে এবং সেই কার্যকে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক (J) বা জুলীয় তুল্যাঙ্ক (Joule's equivalent) দ্বারা ভাগ করিয়া উৎপন্ন তাপের পরিমাণ পাওয়া গিয়াছে। বিভব-বৈষম্যের (potential difference) মধ্য দিয়া চলাচলের জন্য পরিবাহী তারের মধ্যস্থিত বৈদ্যুতিক আধানগুলি (electric charges) যে কার্য করে C^2Rt তাহারই পরিমাণ সূচিত করিতেছে।

অতএব সমীকরণ (1)-কে আমরা নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করিতে পারি :

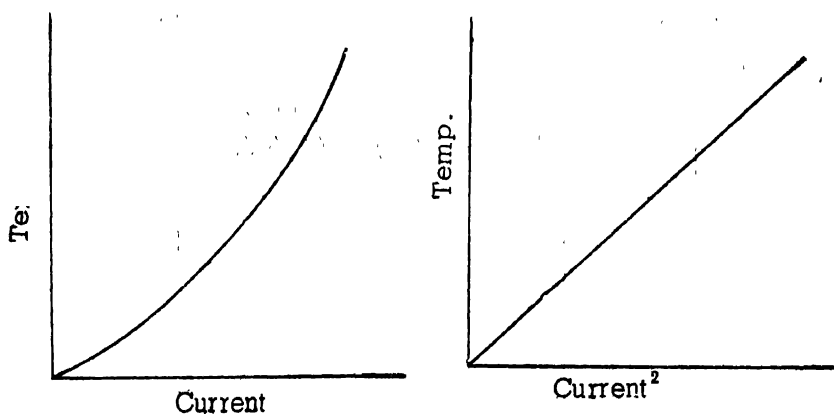
$$H=\frac{C^2Rt}{J}=\frac{C^2Rt}{4{\cdot}2}={\cdot}24C^2Rt \cdots \quad (2)$$

জুল-সূত্রের পরীক্ষা (Experimental verification of Joule's laws) : জুলের সূত্রগুলিকে পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করিবার পদ্ধতি নীচে দেওয়া হইল।

১১২নং চিত্র : জুল-সূত্র পরীক্ষার সরঞ্জাম

প্রথম সূত্রের পরীক্ষা। তামার একটি ক্যালরিমিটারের মধ্যে জল বা তারপিন তেল লইয়া কয়েক ওহ্‌ম রোধের একটি পরিবাহী তারের কুণ্ডলী ডুবাইয়া দেওয়া হয়। বিদ্যুৎপ্রবাহ দ্বারা উৎপন্ন তাপে ক্যালরিমিটার ও তাহার

মধ্যস্থ তরলের উষ্ণতা মাপিবার জন্য একটি সুবেদী থার্মোমিটারের বাল্‌ব ক্যালরিমিটারের তরলের মধ্যে ডুবান থাকে। পরিবাহী তরলের সর্বত্র উষ্ণতার সমতা আনিবার জন্য একটি তামার আলোড়কও (stirrer) ক্যালরিমিটারের মধ্যে নিমজ্জিত থাকে। পরিবাহী তারের কুণ্ডলীর মধ্যে বিদ্যুৎপ্রবাহের সাহায্যে তাপ উৎপন্ন করার সরঞ্জাম চিত্রে দেখান হইয়াছে।

যদি আলোড়কসহ ক্যালরিমিটার ও তাহার মধ্যস্থ তরলের সমগ্র জলসম W গ্রাম হয় এবং কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া বিদ্যুৎপ্রবাহের জন্য উষ্ণতা বৃদ্ধির পরিমাণ যদি θ°C হয় তাহা হইলে প্রবাহজনিত উৎপন্ন তাপ $H = W\theta$ ক্যালরি।

এম্‌মিটারে (ammeter) নির্দেশিত বিদ্যুৎপ্রবাহের মান যদি C হয় তাহা হইলে দেখা যাইবে $\frac{H}{C^2}$ = ধ্রুবক (constant) অর্থাৎ পরিবর্তনীয় রোধের (variable resistance) সাহায্যে বিদ্যুৎপ্রবাহের মান যদি বিভিন্ন ক্ষেত্রে C_1, C_2……প্রভৃতি হয় এবং ঐ সকল ক্ষেত্রে উৎপন্ন তাপের পরিমাণ যদি H_1, H_2,……প্রভৃতি হয় তাহা হইলে দেখা যাইবে, $\frac{H_1}{C_1^2} = \frac{H_2}{C_2^2} = \ldots\ldots\ldots$ = ধ্রুবক (constant). যেহেতু উৎপন্ন তাপের পরিমাণ উষ্ণতা বৃদ্ধির সহিত

১১৩নং চিত্র : প্রবাহ ও উষ্ণতার লেখচিত্র

সমানুপাতী, সুতরাং পূর্বোক্ত বিভিন্ন ক্ষেত্রে θ_1°C, θ_2°C…… ……প্রভৃতি উষ্ণতা বৃদ্ধি ঘটিলে দেখা যাইবে, $\frac{\theta_1}{C_1^2} = \frac{\theta_2}{C_2^2} = \ldots\ldots$ = ধ্রুবক। যদি বিদ্যুৎপ্রবাহের মান অথবা উহার বর্গ এবং উষ্ণতা বৃদ্ধির পরিমাণের একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা হয় তাহা হইলে লেখচিত্রের আকৃতি কিরূপ হইবে তাহা ১১৩নং চিত্রে দেওয়া হইল।

দ্বিতীয় সূত্রের পরীক্ষা : দুইটি ক্যালরিমিটারের মধ্যে শ্রেণীসজ্জায় দুইটি বিভিন্ন রোধের কুণ্ডলী নিমজ্জিত রাখিয়া তাহাদের মধ্য দিয়া নির্দিষ্ট সময়ের জন্য নির্দিষ্ট মানের বিদ্যুৎপ্রবাহ চালনা করা হয়। নিমজ্জিত কুণ্ডলী দুইটির রোধের পরিমাণ R_1 ও R_2 হইলে এবং উৎপন্ন তাপের পরিমাণ H_1 ও H_2 হইলে দেখা যাইবে $\frac{H_1}{R_1}=\frac{H_2}{R_2}$ পরীক্ষালব্ধ এই ফলটি জুলের দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণ করিতেছে।

তৃতীয় সূত্রের পরীক্ষা : একটি নির্দিষ্ট রোধের কুণ্ডলীকে ক্যালরিমিটারের মধ্যে নিমজ্জিত রাখিয়া তাহার মধ্য দিয়া বিভিন্ন সময়ের জন্য নির্দিষ্ট মানের বিদ্যুৎপ্রবাহ চালনা করা হয়। বিভিন্ন সময়ের মান যদি $t_1, t_2, \cdots\cdots$ প্রভৃতি হয় এবং উৎপন্ন তাপের পরিমাণ যদি H_1, $H_2, \cdots\cdots$ প্রভৃতি হয় তাহা হইলে দেখা যাইবে, $\frac{H_1}{t_1}=\frac{H_2}{t_2}=\cdots\cdots$ পরীক্ষালব্ধ এই ফলটি জুলের তৃতীয় সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করিতেছে।

বৈদ্যুতিক শক্তি ও ক্ষমতার ব্যবহারিক একক

[Practical units of electrical energy and power]

কোনও রোধের প্রান্তবিন্দুদ্বয়ের বিভব-বৈষম্য V ভোল্ট (volt), রোধের মধ্য দিয়া প্রবাহিত বিদ্যুৎপ্রবাহের মান C অ্যাম্পিয়ার (ampere) এবং বিদ্যুৎপ্রবাহের ফলে প্রতি সেকেণ্ডে সম্পন্ন কার্যের পরিমাণ W ওয়াট (watt) হইলে প্রমাণ করা যায় :

ওয়াট = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার (watts = volts × amperes).

ভোল্ট, অ্যাম্পিয়ার, ওয়াট ও জুলকে (Joule) যথাক্রমে বৈদ্যুতিক বিভব-বৈষম্য, বিদ্যুৎপ্রবাহ, ক্ষমতা ও শক্তির ব্যবহারিক একক বলে। প্রতি সেকেণ্ডে সম্পন্ন কার্যের পরিমাণ এক জুল (1 Joule) হইলে কর্মক্ষমতাকে এক ওয়াট (1 watt) বলা হয়।

1 watt = 1 Joule per second.

ওয়াটের সংখ্যাকে 1000 দিয়া ভাগ করিলে কিলোওয়াট (kilowatt) পাওয়া যায়। সুতরাং, কিলোওয়াট $= \frac{\text{ভোল্ট} \times \text{অ্যাম্পিয়ার}}{1000}$.

প্রতি সেকেণ্ডে 1 কিলোওয়াট হারে কাজ করিয়া এক ঘণ্টায় সম্পন্ন কার্যের পরিমাণকে কিলোওয়াট ঘণ্টা (1 kilowatt hour or 1 KWH) বলে। ব্যবসায়ের ক্ষেত্রে এই পরিমাণ শক্তিকে একক ধরা হইয়া থাকে। এইজন্য এই

একককে ব্যবসায়িক একক (Commercial unit বা Board trade unit) বলে। ইলেকট্রিক বিলের এককও এক কিলোওয়াট ঘণ্টা।

উদাহরণ : একটি ইলেকট্রিক বাতির গায়ে 220 ভোল্ট, 60 ওয়াট লেখা আছে। এই সংখ্যা দুইটি কি বুঝাইতেছে? বাতিটি জ্বলিবার সময় বিদ্যুৎ-প্রবাহের মান কত? বাতির মধ্যস্থিত কুণ্ডলীর রোধ কত? ব্যবসায়িক এককের মূল্য 25 ন.প. হইলে বাতিটি 100 ঘণ্টা জ্বলিলে কত খরচ পড়িবে?

বাতির গায়ে লেখা 220 ভোল্ট, 60 ওয়াট হইতে আমরা বুঝি যে, বাতির রোধ কুণ্ডলীর প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে 220 ভোল্ট বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করিলে বাতিটি প্রতি সেকেণ্ডে 60 ওয়াট কার্য করিতে থাকিবে এবং ইহার ফলে উজ্জ্বল হইয়া আলো দিবে।

জ্বলন্ত অবস্থায় বিদ্যুৎপ্রবাহের মান $=\frac{\text{ওয়াট}}{\text{ভোল্ট}}=\frac{60}{220}=\frac{3}{11}$ অ্যাম্পিয়ার

জ্বলন্ত অবস্থায় রোধের পরিমাণ $=\frac{220\ \text{ভোল্ট}}{\frac{3}{11}\text{অ্যাম্পিয়ার}}=807$ ওহ্‌ম (প্রায়)

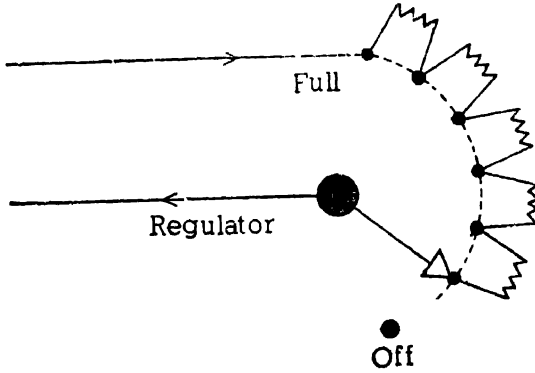
ব্যবসায়িক এককের সংখ্যা $=\frac{60}{1000}\times 100=6$

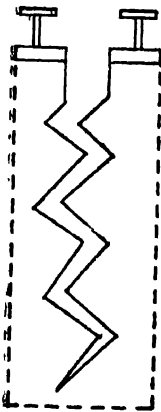
একশত ঘণ্টা জ্বালিবার জন্য খরচ $=6\times 25$ন.প. $=$ টাকা 1·50 ন.প.

বিদ্যুৎপ্রবাহ নিয়ন্ত্রণ (Control of current flow) : বৈদ্যুতিক বর্তনীতে বিদ্যুৎপ্রবাহ নিয়ন্ত্রণের সরঞ্জাম নীচে দেওয়া হইল।

(1) **পরিবর্তনীয় রোধ কুণ্ডলী** (Variable resistance or Rheostat) : ইহাতে সাধারণত একটি পরিবাহী লম্বা তার চীনামাটি বা অপরিবাহী কোনও বস্তুনির্মিত সিলিণ্ডারের উপর পাক দিয়া এরূপভাবে জড়ান থাকে যাহাতে তাহারা পরস্পর স্পর্শ না করে। তারের দুই দিকের শেষে দুইটি সংযোজন স্ক্রু থাকে। সিলিণ্ডারের উপরে একটি ধাতুদণ্ডের উপর একটি ধাতুনির্মিত স্লাইডার (slider) থাকে। এই স্লাইডারটি একস্থান হইতে অন্যস্থানে সরাইয়া রোধের মানের পরিবর্তন করা হয়।

অপরিবর্তনীয় রোধ (fixed resistance) হিসাবে ইহাকে ব্যবহার করিতে হইলে তারের দুই প্রান্তের দুইটি সংযোজন স্ক্রু ব্যবহার করিতে হইবে এবং পরিবর্তনীয় রোধ হিসাবে ব্যবহার করিতে হইলে ধাতুদণ্ডের সংযোজন স্ক্রু ও তার-সংলগ্ন যে কোন একটি স্ক্রু ব্যবহার করিতে হইবে।

ইলেকট্রিক্ ফ্যানের (electric fan) বা বৈদ্যুতিক পাখার রেগুলেটারও (regulator) একটি পরিবর্তনীয় রোধ।

১১৪নং চিত্র : রেগুলেটার

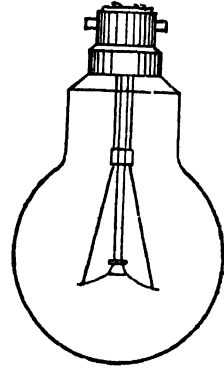
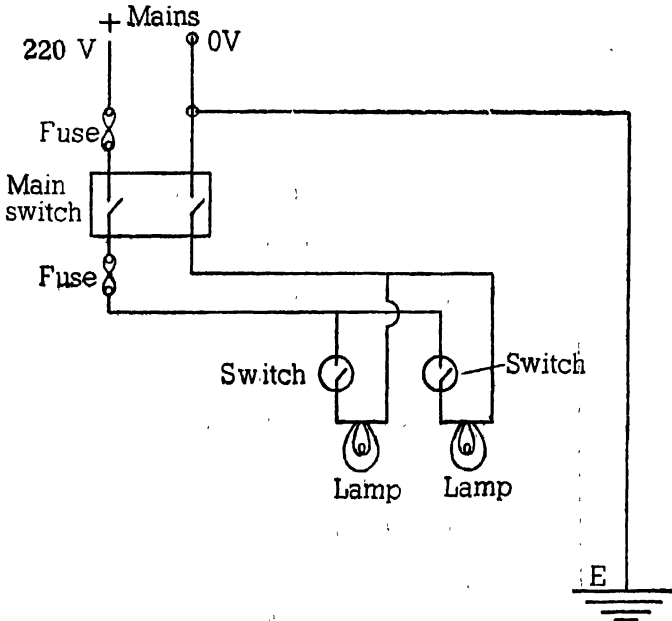
(2) **অপরিবর্তনীয় রোধ** (Fixed resistance): বিদ্যুৎপ্রবাহ নিয়ন্ত্রিত ও প্রবাহ সংক্রান্ত পরিমাপের জন্য ইহা ব্যবহৃত হয়। ইহাতে নির্দিষ্ট রোধের তার যুগ্ম ভাবে একটি অপরিবাহী সিলিণ্ডারের উপর জড়ান থাকে এবং তারের দুই প্রান্তে দুইটি সংযোজন স্ক্রু থাকে। এইরূপ বিভিন্ন রোধকুণ্ডলী শ্রেণীবদ্ধভাবে একটি বাক্সে রাখিয়া রোধ-বাক্স (resistance box) তৈয়ারী করা হয়। রোধ-বাক্স পরীক্ষাগারের বিভিন্ন পরীক্ষায় ব্যবহৃত হয়।

১১৫নং চিত্র : অপরিবর্তনীয় রোধ

সুইচ্ (Switch): কোন বর্তনীতে বিদ্যুৎপ্রবাহ বন্ধ করিতে অথবা প্রবাহের শুরু করিতে সুইচের ব্যবহার করা হয়। সুইচের সাহায্যে বর্তনীতে পরিবাহী তারের নিরবচ্ছিন্ন যোগাযোগ নষ্ট হয় এবং ফলে প্রবাহ বন্ধ হয়। এই সুইচের সাহায্যেই পুনরায় বর্তনীর তারে নিরবচ্ছিন্ন পরিবাহী যোগাযোগ স্থাপিত হইলে বিদ্যুৎপ্রবাহ শুরু হয়।

(4) **বৈদ্যুতিক বাতি** (Electric lamp): বায়ুশূন্য অথবা নিষ্ক্রিয় কোন গ্যাসপূর্ণ একটি কাঁচের বাল্‌বের ভিতর মোটা দুইটি তামার তারের প্রান্তে একটি খুব সরু টাংষ্টেন্ (tungsten) বা উচ্চ গলনাঙ্কবিশিষ্ট কোন ধাতুর তার লাগান থাকে। এই সরু তারটিকে ফিলামেণ্ট (filament) বলে। তারটি খুব সরু হওয়ার জন্য ইহার রোধ খুব বেশী। বাহির হইতে

তারের মধ্যে বিদ্যুৎপ্রবাহ সৃষ্টি করিলে তারটি ভীষণ উত্তপ্ত হইয়া উজ্জ্বল হয় এবং আলো দেয়। পূর্বে সরু ধাতব তারের পরিবর্তে কার্বনের তার (carbon filament) লাগান হইত।

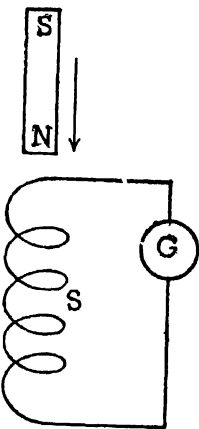
১১৬নং চিত্র : ইলেকট্রিক বাল্ব

5. **ফিউজ (Fuse):** কোনও বর্তনীর কোনও ত্রুটির জন্য বিদ্যুৎপ্রবাহের মাত্রা হঠাৎ বৃদ্ধি পাইয়া দুর্ঘটনা ঘটাইতে পারে। ইহার ফলে বর্তনীতে ব্যবহৃত যন্ত্রপাতি নষ্ট হইতে পারে। সেইজন্য বর্তনী কোনও অংশে অল্প উষ্ণতায় গলিয়া যায় এরূপ ধাতব তারের একটি টুকরা জুড়িয়া দেওয়া হয়। এই তারটিকে ফিউজ তার (fuse wire) বলে। বিদ্যুৎপ্রবাহের মাত্রা সীমা অতিক্রম করিলে উৎপন্ন তাপ ফিউজ তারটিকে গলাইয়া দিয়া বর্তনীর নিরবচ্ছিন্ন পরিবাহী যোগাযোগ নষ্ট করিয়া দেয়। ফলে প্রবাহ বন্ধ হয় ও দুর্ঘটনা হইতে যন্ত্রপাতি রক্ষা পায়।

১১৭নং চিত্র : গৃহে বৈদ্যুতিক তারের সংযোজনা প্রণালী

6. **গৃহে বৈদ্যুতিক তারের সংযোজনা প্রণালী** (House wiring system): ১১৭নং চিত্রে বাড়ীতে বিদ্যুৎপ্রবাহের সাহায্যে আলো প্রভৃতি

জ্বালাইবার জন্য পরিবাহী তারের (তামার তার) সংযোজনা প্রণালী দেখান হইয়াছে। বাড়ীতে বৈদ্যুতিক মেইনের (electric mains) তার দুইটির একটিকে মাটির সহিত যুক্ত করা হয়। মাটির সহিত যুক্ত তারটিকে নিষ্ক্রিয় তার (dead wire) বলে। অপর তারটিকে সক্রিয় তার (live wire) বলে। ফিউজসহ বাড়ীর মিটারটি এই সক্রিয় তারের সহিত যুক্ত থাকে। এই দুই তারের সহিত সমান্তরালসজ্জায় আলো, পাখা প্রভৃতি যুক্ত করা হয়। প্রত্যেকটি আলো ও পাখার সহিত একটি করিয়া সুইচ থাকে। অনেক ক্ষেত্রে নিরাপত্তার জন্য মাঝে মাঝে ফিউজও ব্যবহার করা হয়।

তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ
[Electromagnetic Induction]

বিদ্যুৎপ্রবাহের ফলে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়—ওয়রষ্টেডের (Oersted) এই আবিষ্কারের পরই মাইকেল ফ্যারাডে (Michel Faraday) বিপরীত প্রক্রিয়ায় অনুসন্ধানের জন্য গবেষণা করিতে আরম্ভ করেন। কয়েক বৎসর পর তিনি আবিষ্কার করেন যে কোনও বদ্ধ রোধ কুণ্ডলীর মধ্যে চৌম্বক ক্ষেত্রের মানের হ্রাস বৃদ্ধি ঘটাইলে রোধ কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী বিদ্যুৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়। এই ঘটনাকে **তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ** (electromagnetic induction) এবং উৎপন্ন বিদ্যুৎপ্রবাহকে **আবিষ্ট বিদ্যুৎপ্রবাহ** (induced current) বলে।

১১৮নং চিত্র :
চুম্বকের সাহায্যে পরীক্ষা :

চুম্বক ও রোধ কুণ্ডলীর সাহায্যে পরীক্ষা : কোনও রোধ কুণ্ডলীর (resistance coil) দুই প্রান্ত একটি সুবেদী (sensitive) গ্যালভানোমিটারের দুইটি সংযোজক স্ক্রুর সহিত যোগ করা হইল।

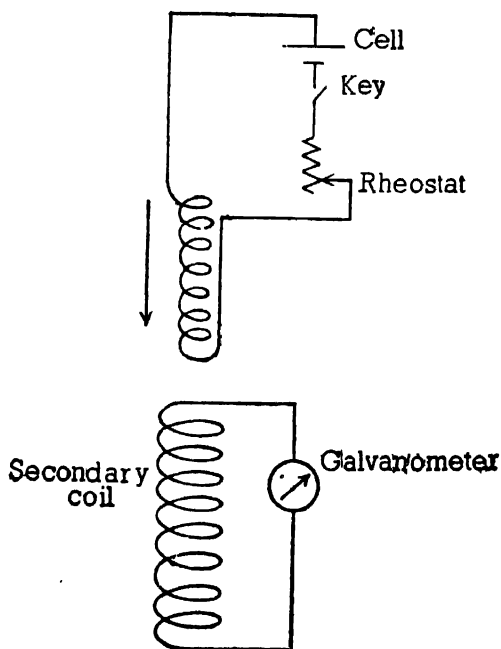
কোনও চুম্বকের যে কোন মেরু রোধ কুণ্ডলীর নিকটে আনিলে অথবা রোধ কুণ্ডলীর মধ্যে প্রবেশ করাইলে গ্যালভানোমিটারে ক্ষণস্থায়ী বিক্ষেপ দেখা যায়। চুম্বক ও রোধকুণ্ডলীর মধ্যে পারস্পরিক দূরত্বের যতক্ষণ পরিবর্তন ঘটে মাত্র ততক্ষণই গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ দেখা যায়। পারস্পরিক দূরত্বের পরিবর্তন না ঘটিলে গ্যালভানোমিটারে কোন বিক্ষেপ দেখা যায় না। চুম্বকটিকে রোধ কুণ্ডলীর মধ্যে প্রবেশ করাইবার পর যদি তাহাকে রোধ কুণ্ডলীর মধ্যে রাখিয়া দেওয়া

হয় তাহা হইলে প্রবেশকালীন বিক্ষেপ অবিলম্বে কমিয়া গ্যালভানোমিটারের কাঁটাটি স্থিরবিন্দুতে আসিয়া থামিয়া যায়।

চুম্বকটি রোধ কুণ্ডলী হইতে দূরে সরাইয়া লইয়া গেলে কিংবা প্রবিষ্ট চুম্বক বাহিরে আনিলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ বিপরীত দিকে ঘটে।

প্রধান ও অপ্রধান রোধ কুণ্ডলীর সাহায্যে পরীক্ষা

একটি সেল (cell), একটি পরিবর্তনীয় রোধ (variable resistance) একটি চাবি (key) ও একটি রোধ কুণ্ডলীর (resistance coil) সাহায্যে একটি বিদ্যুৎ-বর্তনী (electric circuit) তৈয়ারী করা হইল। বর্তনীতে ব্যবহৃত রোধ কুণ্ডলীকে প্রধান কুণ্ডলী (Primary coil) বলে।

অপর একটি রোধ কুণ্ডলীকে গ্যালভানোমিটারের সংযোজক স্ক্রু দুইটির সহিত যোগ করিয়া একটি বদ্ধবর্তনী (closed circuit) তৈয়ারী করা হইল। এই দ্বিতীয় বর্তনীতে ব্যবহৃত রোধ কুণ্ডলীকে অপ্রধান কুণ্ডলী (Secondary coil) বলে।

১১৯নং চিত্র : প্রবাহবিশিষ্ট কুণ্ডলীর সাহায্যে পরীক্ষা

প্রথমে বর্তনীতে একটি সেল (cell) যোগ করিয়া বিদ্যুৎপ্রবাহ কোনদিকে হইলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ (deflection) কোন্ দিকে হয় তাহা ঠিক করা হয়। পরীক্ষার পর সেলটিকে দ্বিতীয় বর্তনী হইতে বিচ্ছিন্ন

করা হয় এবং অপ্রধান রোধ কুণ্ডলীর দুই প্রান্তকে আবার গ্যালভানোমিটারের সহিত যুক্ত করা হয়। এই পরীক্ষাটিকে সাহায্যকারী পরীক্ষা (auxiliary experiment) বলে। ফ্যারাডের মূল পরীক্ষার বিষয় নীচে বলা হইল।

1. (ক) প্রধান রোধ কুণ্ডলীতে বিদ্যুৎপ্রবাহ সৃষ্টি করার পর যদি তাহাকে অপ্রধান রোধ কুণ্ডলীর নিকটে আনা হয় তাহা হইলে গ্যালভানোমিটারে ক্ষণস্থায়ী এক বিক্ষেপ দেখা যায়। ক্ষণস্থায়ী বিক্ষেপের দিক হইতে উৎপন্ন বিদ্যুৎ-প্রবাহের দিক নির্ণয় করিলে দেখা যায় উৎপন্ন বিদ্যুৎপ্রবাহ প্রধান কুণ্ডলীর বিদ্যুৎপ্রবাহের বিপরীত দিকে (inverse) হয়।

(খ) বিদ্যুৎপ্রবাহ সমন্বিত প্রধান রোধ কুণ্ডলীকে অপ্রধান রোধ কুণ্ডলী হইতে দূরে সরাইয়া লইয়া গেলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ 1 (ক) পরীক্ষার বিপরীত দিকে হয়। বিক্ষেপ হইতে বিদ্যুৎপ্রবাহের দিক নির্ণয় করিলে দেখা যায় ইহা প্রধান কুণ্ডলীর বিদ্যুৎপ্রবাহের দিকে (direct) ঘটে।

2. (ক) প্রধান ও অপ্রধান কুণ্ডলীকে স্থির অবস্থায় রাখিয়া যদি প্রধান কুণ্ডলীতে বিদ্যুৎপ্রবাহের মান বৃদ্ধি করা যায় তাহা হইলে গ্যালভানোমিটারে এক ক্ষণস্থায়ী বিক্ষেপ হয়। বিক্ষেপের দিক হইতে অপ্রধান কুণ্ডলীতে উৎপন্ন প্রবাহের দিক নিরূপণ করিলে দেখা যায় এই প্রবাহ প্রধান কুণ্ডলীর বিদ্যুৎ-প্রবাহের বিপরীত দিকে (inverse) ঘটে।

(খ) উভয় কুণ্ডলীকে স্থির অবস্থায় রাখিয়া বিদ্যুৎপ্রবাহের মান হ্রাস করিলে অপ্রধান কুণ্ডলীতে প্রধান কুণ্ডলীর প্রবাহের দিকে ক্ষণস্থায়ী বিদ্যুৎ-প্রবাহ উৎপন্ন হয়।

3. (ক) প্রধান কুণ্ডলীতে চাবির (key) সাহায্যে বিদ্যুৎপ্রবাহ শুরু করার সঙ্গে সঙ্গে অপ্রধান কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী বিক্ষেপ হয়। বিক্ষেপের দিক হইতে প্রবাহের দিক নির্ণয় করিলে দেখা যায় অপ্রধান কুণ্ডলীতে উৎপন্ন ক্ষণস্থায়ী প্রবাহ প্রধান কুণ্ডলীর প্রবাহের বিপরীত দিকে ঘটে।

(খ) চাবির সাহায্যে প্রধান কুণ্ডলীর প্রবাহ বন্ধ করা মাত্রই অপ্রধান কুণ্ডলীতে প্রধান কুণ্ডলীর সমদিকে ক্ষণস্থায়ী বিদ্যুৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়।

প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয় পরীক্ষা দ্রুতভাবে সম্পাদন করিলে দেখা যায় অপ্রধান কুণ্ডলীর ক্ষণস্থায়ী বিদ্যুৎপ্রবাহের মান বৃদ্ধি হয় কিন্তু প্রবাহের দিক পূর্বেকার পরীক্ষা গুলিতে যে দিকে ছিল সেই দিকেই থাকে।

আলোচনা: পূর্বেকার পরীক্ষাগুলিকে বিশ্লেষণ করিলে দেখা যায় 1(ক), 2(ক) ও 3(ক) পরীক্ষাগুলির ক্ষেত্রে অপ্রধান কুণ্ডলীতে প্রধান কুণ্ডলী সংশ্লিষ্ট

চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি ঘটিতেছে এবং 1(খ), 2(খ) ও 3(খ) পরীক্ষাগুলির ক্ষেত্রে চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা হ্রাস পাইতেছে। সুতরাং বলা যাইতে পারে, অপ্রধান কুণ্ডলীতে বলরেখার সংখ্যার বৃদ্ধি ঘটিলে প্রধান কুণ্ডলীর প্রবাহের বিপরীত দিকে ক্ষণস্থায়ী বিদ্যুৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয় এবং বলরেখার সংখ্যা হ্রাস পাইলে সমদিকে ক্ষণস্থায়ী প্রবাহ উৎপন্ন হয়। পরীক্ষাগুলি দ্রুত সম্পাদনের ফলে অপ্রধান কুণ্ডলীতে চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা পরিবর্তনের **হারের** বৃদ্ধি হয়; সুতরাং বলা যাইতে পারে অপ্রধান কুণ্ডলীতে উৎপন্ন বিদ্যুৎপ্রবাহের মান অথবা বৈদ্যুতিক বিভব-বৈষম্যের মান চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা পরিবর্তনের হারের সহিত সমানুপাতী। এই সিদ্ধান্তগুলিকে দুইটি সূত্রের আকারে প্রকাশ করা হয় এবং এই সূত্র দুইটিকে ফ্যারাডের বিদ্যুৎ-চুম্বকীয় আবেশের সূত্র (Faraday's laws of electromagnetic induction) বলে।

ফ্যারাডের বিদ্যুৎ-চুম্বকীয় আবেশের সূত্র (Faraday's laws of electromagnetic induction):

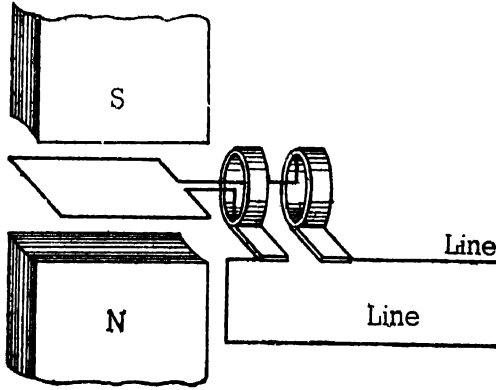
1. বদ্ধবর্তনীর সহিত সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তন ঘটিলে বর্তনীতে ক্ষণস্থায়ী বিদ্যুৎপ্রবাহ আবিষ্ট হয়। বলরেখার সংখ্যাবৃদ্ধি ঘটিলে প্রবাহ যে দিকে হয়, সংখ্যা হ্রাস পাইলে প্রবাহ তাহার বিপরীত দিকে হয়।

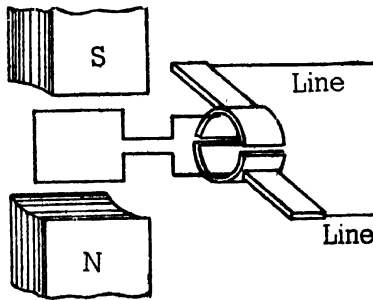
2. আবিষ্ট বিভব-বৈষম্য অথবা বিদ্যুৎপ্রবাহের মান কুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা পরিবর্তনের (হ্রাস বা বৃদ্ধি) হারের সহিত সমানুপাতী।

চৌম্বক ক্ষেত্রে ঘূর্ণমান কুণ্ডলী (Rotating coil in a magnetic field):

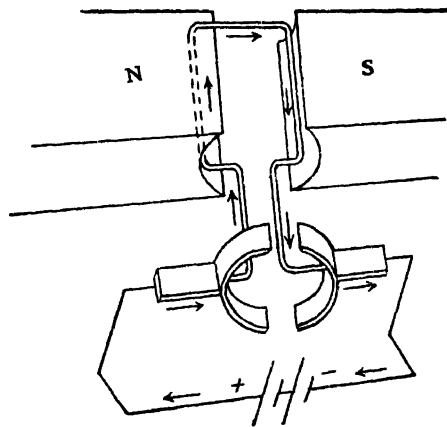
পরিবাহী তারের (সাধারণত তামার) একটি বদ্ধ কুণ্ডলীকে কোনও চুম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্বী কোনও অক্ষের উপর ঘুরাইলে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের ফলে বিদ্যুৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়। ঘূর্ণমান অবস্থায় কুণ্ডলী সংশ্লিষ্ট বলরেখার সংখ্যার হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে। ফলে কুণ্ডলীতে উৎপন্ন বিদ্যুৎপ্রবাহের দিকও পরিবর্তিত হয়। কুণ্ডলীটি দ্রুত ঘুরাইলে উৎপন্ন বিদ্যুৎপ্রবাহের দিকও এক সেকেণ্ডে বহুবার পরিবর্তিত হইতে থাকিবে। এই জাতীয় পর্যায়ক্রমে দিক পরিবর্তনশীল বিদ্যুৎ-প্রবাহকে পরিবর্তী প্রবাহ (alternating current বা A. C.) বলে। যে প্রবাহের দিক পরিবর্তিত হয় না তাহাকে অপরিবর্তী বা একমুখী প্রবাহ (Direct current বা D. C.) বলে।

ডায়নামো (Dynamo) :

পরিবাহী তারের বদ্ধ কুণ্ডলীকে চৌম্বক ক্ষেত্রে ঘুরাইলে যে বিদ্যুৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয় তাহার প্রয়োগ অবলম্বন করিয়া বিদ্যুৎ উৎপাদক যন্ত্র তৈয়ারী করা হইয়াছে। এই যন্ত্রগুলিকে ডায়নামো বলে। ডায়নামো দুই প্রকার : (1) পরিবর্তী প্রবাহের ডায়নামো (A. C. Dynamo), (2) অপরিবর্তী বা একমুখী প্রবাহের ডায়নামো (D. C. Dynamo).

১২০ নং চিত্র : এ. সি. ডায়নামো

1. পরিবর্তী প্রবাহের ডায়নামো : ১২০ চিত্রে চুম্বকের দুই মেরুর মধ্যবর্তী চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি আয়তকার কুণ্ডলী সমবেগে ঘুরিতেছে। দুইটি ধাতুবলয় কুণ্ডলীর দুই প্রান্তে যুক্ত আছে। ধাতুবলয় দুইটির উপর কার্বন অথবা

১২১নং চিত্র : ডি. সি. ডায়নামো

ধাতব তার নির্মিত দুইটি ব্রাশ বসান থাকে। কুণ্ডলীটি ঘুরিতে থাকিলে পরিবর্তী বিদ্যুৎপ্রবাহ উৎপন্ন হয়, অর্থাৎ প্রত্যেকটি বলয় পর্যায়ক্রমে পজিটিভ ও নেগেটিভ হয়। ব্রাশ দুইটি ও পরিবাহী তারের সাহায্যে উৎপন্ন পরিবর্তী বিদ্যুৎপ্রবাহ বাহিরের বর্তনীতে সঞ্চালিত হয়।

2. অপরিবর্তী প্রবাহের ডায়নামো : এই যন্ত্রে একটি আয়তাকার পরিবাহী তারের (সাধারণত তামার) কুণ্ডলী চৌম্বক ক্ষেত্রে সবেগে ঘুরিতে থাকে। কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত একটি খণ্ডিত বলয়ের সহিত সংযুক্ত থাকে। খণ্ডিত বলয়ের দুই পাশে দুইটি ধাতব ব্রাশ অথবা কার্বন ব্রাশ বসান থাকে এবং এই ব্রাশ দুইটির সহিত বহির্বর্তনীর যোগ থাকে। কুণ্ডলীটি চৌম্বক ক্ষেত্রে ঘুরিলে খণ্ডিত বলয়ের বিভিন্ন অংশও ঘুরিতে থাকে এবং বলয়ের খণ্ডিত অংশ দুইটির সহিত ব্রাশ দুইটির পর্যায়ক্রমে সংযোগ ঘটে। ইহার ফলে একটি ব্রাশ সকল সময় পজিটিভ (positive) ও অন্যটি নেগেটিভ (negative) থাকিয়া যায়। সুতরাং বাহিরের বর্তনীতে সকল সময় একমুখী প্রবাহ চলে।

১২২ নং চিত্র : বৈদ্যুতিক মোটর

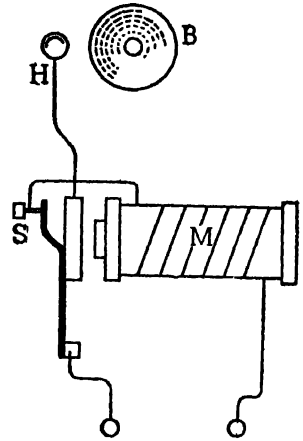
বৈদ্যুতিক মোটর (Electric Motor) :

বৈদ্যুতিক শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করিবার যন্ত্রের নাম মোটর (motor)। ইলেকট্রিক ফ্যানও (বৈদ্যুতিক পাখা) একধরনের মোটর। বার্লোচক্রকেও ইলেকট্রিক মোটর বলা যায়। বৈদ্যুতিক মোটর অপরিবর্তী প্রবাহসৃষ্টিকারী ডায়নামোর বিপরীত পদ্ধতিতে কাজ করে। ঘূর্ণনক্ষম একটি কুণ্ডলীকে চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখিয়া উহাতে বিদ্যুৎপ্রবাহ সৃষ্টি করিলে কুণ্ডলীটি ঘুরিতে থাকে। বিদ্যুৎপ্রবাহের দিক অপরিবর্তিত থাকিলে কুণ্ডলীটিও একই দিকে ঘুরিতে থাকে। বিদ্যুৎপ্রবাহ পরিবর্তী হইলে খণ্ডিত বলয় বা কমুটেটরের সাহায্যে তাহাকে একমুখী করিয়া লওয়া হয় এবং তাহার ফলে কুণ্ডলীটি একই দিকে ঘুরিতে থাকে।

বৈদ্যুতিক ঘণ্টা (Electric Bell) :

বর্ণনা : M একটি কাঁচা লোহার (soft iron) বিদ্যুৎচুম্বক। ইহার উপর জড়ান অন্তরিত (insulated) তারের একপ্রান্ত একটি সংযোজক স্ক্রুর সহিত এবং অপর প্রান্ত S স্ক্রুর সহিত সংযুক্ত। S স্ক্রুর সূচালো বিন্দুটি একটি স্প্রিংকে স্পর্শ করিয়া আছে। ঐ স্প্রিং-এর সহিত সংযুক্ত একটি কাঁচা লোহার ছোট দণ্ড আছে। ইহাকে আর্মেচার (armature) বলে। আর্মেচারটির সহিত একটি লোহার মোটা তার দ্বারা একটি লোহার বল H সংযুক্ত আছে। ইহাকে হাতুড়ি (Hammer) বলে। যন্ত্রের অপর সংযোজক স্ক্রুটি স্প্রিং-এর সহিত সংযুক্ত। হাতুড়ির পাশে B একটি ধাতব ঘণ্টা।

১২৩নং চিত্র : বৈদ্যুতিক ঘণ্টা

কার্য : সংযোজক স্ক্রু দুইটি কোনও বৈদ্যুতিক সেলের সহিত যোগ করিলে তারের মধ্যে বিদ্যুৎপ্রবাহ চলে। সঙ্গে সঙ্গে M কাঁচা লোহাটি চুম্বকে পরিণত হয় এবং আর্মেচারকে আকর্ষণ করে। আর্মেচার সরিয়া আসিলেই S স্ক্রুর সহিত উহার সংযোগ বিচ্ছিন্ন হয়। ইহার ফলে বর্তনীর বিদ্যুৎ-প্রবাহ বন্ধ হয় এবং M উহার চুম্বকত্ব হারায়। সুতরাং, উহা আর্মেচারকে আর আকর্ষণ করে না। আর্মেচারটি স্প্রিং-এর সহিত সংযুক্ত বলিয়া উহা আবার পূর্বের স্থানে ফিরিয়া যায় এবং স্ক্রু S-এর সহিত পুনরায় উহার সংযোগ ঘটে। ইহার ফলে আবার প্রবাহ চলে এবং M চুম্বক আর্মেচারকে আকর্ষণ করে। এইভাবে বারে বারে বর্তনী যুক্ত (closed) ও মুক্ত (open) হওয়ায় আর্মেচারের সহিত সংযুক্ত H হাতুড়িটি কম্পন করিতে থাকে এবং B ঘণ্টাটিতে বারে বারে আঘাত করতে থাকে। ইহার ফলে ঘণ্টায় শব্দ উৎপন্ন হয়।

বিদ্যুৎ প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া
(Chemical effects of electric current)

কয়েকটি প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা

গলিত ধাতু এবং পারদ ছাড়াও বহু রাসায়নিক যৌগিক পদার্থ জলে দ্রবীভূত হইলে দ্রবণ বিদ্যুৎপরিবাহী হয়। এই সমস্ত বিদ্যুৎপরিবাহী দ্রবণকে **ইলেকট্রোলাইট** (Electrolyte) বলে।

আরহেনিয়াস্ (Arrheneous) ইলেকট্রোলাইট সমূহের বিদ্যুৎ পরিবাহিতার কারণ সম্বন্ধে বলেন দ্রবীভূত অবস্থায় যৌগিক পদার্থের প্রত্যেকটি অণু দুইভাগে ভাগ হইয়া যায়। যে অংশে ধাতব পদার্থের পরিমাণ বেশী (এক্ষেত্রে হাইড্রোজেনকেও ধাতু বলিয়া গণ্য করা হয়) তাহা পজিটিভ চার্জ যুক্ত হয় এবং যাহাতে অধাতুর পরিমাণ বেশী তাহা নেগেটিভ চার্জ যুক্ত হয়। বিভক্ত অণুর দুই অংশের প্রত্যেকটিকে **আয়ন** (Ion) বলে। অণুর যে অংশ পজিটিভ চার্জ যুক্ত তাহাকে পজিটিভ আয়ন এবং যে অংশ নেগেটিভ চার্জ যুক্ত তাহাকে নেগেটিভ আয়ন বলে। এই আয়নগুলিই দ্রবণের মধ্যে বিদ্যুৎ প্রবাহ পরিবহণ করে।

কোনও একটি পাত্রে ইলেকট্রোলাইট বা পরিবাহী দ্রবণ লইয়া দুইটি ধাতুর পাত দ্রবণে আংশিক ডুবাইয়া দেওয়া হইল এবং পাত দুইটির মাধ্যমে দ্রবণের মধ্যে বিদ্যুৎপ্রবাহ চালনা করা হইল। ইহার ফলে পজিটিভ আয়নগুলি নিম্ন-বিভব সম্পন্ন পাতের দিকে এবং নেগেটিভ আয়নগুলি উচ্চবিভব সম্পন্ন পাতের দিকে চালিত হয়। আয়নগুলি স্ব স্ব প্লেটে (পাতে) পৌছিয়া বাহিত চার্জ প্লেটে ছাড়িয়া দিয়া চার্জ বিহীন হয় এবং অণুতে রূপান্তরিত হইয়া প্লেটের উপর জমা হইতে থাকে। এইভাবে ইলেকট্রোলাইটের মধ্য দিয়া বিদ্যুৎপ্রবাহের ফলে তাহার রাসায়নিক বিশ্লেষণ ঘটে।

বিদ্যুৎ প্রবাহের দ্বারা সৃষ্ট এই রাসায়নিক প্রক্রিয়াকে **ইলেক্‌ট্রোলিসিস্ (Electrolysis) বলে বা তড়িৎ বিশ্লেষণ বলে।** দ্রবণে অংশিক নিমজ্জিত পাত দুইটির প্রত্যেকটিকে **ইলেকট্রোড** (electrode) বলে। ইলেকট্রোড্ দুইটির মধ্যে যে পাতটি উচ্চবিভব সম্পন্ন তাহাকে পজিটিভ ইলেকট্রোড বা অ্যানোড (anode) বলে এবং যে প্লেটটি নিম্নবিভব সম্পন্ন তাহাকে ক্যাথোড (cathode) বলে। অ্যানোড ও ক্যাথোডের নাম অনুসারে পজিটিভ আয়নকে **অ্যানায়ন** এবং নেগেটিভ আয়নকে **ক্যাটায়ন** বলে। যে পাত্রে বিদ্যুৎ প্রবাহের দ্বারা রাসায়নিক বিশ্লেষণ ঘটে তাহাকে **ভল্টামিটার** (Voltameter) বলে।

2. ফ্যারাডের তড়িৎ বিশ্লেষণের সূত্র : (Faraday's laws of electrolysis)

তড়িৎ বিশ্লেষণ সম্বন্ধে পরীক্ষা করিয়া ফ্যারাডে নিম্নলিখিত সূত্রগুলি আবিষ্কার করেন :

প্রথম সূত্র : ইলেকট্রোলাইটের মধ্য দিয়া বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করিলে ইলেকট্রোডে জমান্বিত আয়নের ভর ইলেকট্রোলাইটের মধ্য দিয়া প্রবাহিত মোট চার্জের সমানুপাতী।

যদি কোনও ইলেকট্রোলাইটের মধ্য দিয়া q পরিমাণ চার্জ প্রবাহিত হওয়ার জন্য যে কোনও ইলেকট্রোডে জমায়িত আয়নের ভর m হয় তাহা হইলে দেখা যায়, $m \propto q$ যেহেতু প্রবাহিত চার্জ বিদ্যুৎপ্রবাহের মান (c) ও প্রবাহকালীন সময়ের (t) গুণফল, সুতরাং বলা যাইতে পারে $m \propto ct$. অতএব, $m = zct$, z একটি ধ্রুবক। যদি $q = ct = 1$ কুলম্ব হয় তাহা হইলে $m = z$ অর্থাৎ z ধ্রুবকটি 1 কুলম্ব চার্জ প্রবাহের দ্বারা ইলেকট্রোডে সঞ্চিত আয়নের ভর নির্দেশ করে। z কে **ইলেকট্রো কেমিক্যাল ইকুইভ্যালেণ্ট** (electro chemical equivalent বা E. C. E. বলে। **ইহার একক গ্রাম/কুলম্ব।**

দ্বিতীয় সূত্র : বিভিন্ন ইলেকট্রোলাইটের মধ্য দিয়া নির্দিষ্ট পরিমাণ চার্জ প্রবাহিত হইলে বিভিন্ন ইলেকট্রোডে জমায়িত আয়নের ভর স্ব স্ব মৌলিক পদার্থের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক বা কেমিক্যাল ইকুইভ্যালেণ্টের* (Chemical equivalent) **সমানুপাতী।**

যদি বিভিন্ন ইলেকট্রোলাইটের মধ্য দিয়া একই পরিমাণ চার্জ প্রবাহিত হওয়ার ফলে বিভিন্ন ইলেকট্রোডে জমায়িত আয়নের ভর $m_1, m_2 \cdots\cdots\cdots$ হয় এবং মুক্ত মৌলর আয়নের (element) কেমিক্যাল ইকুইভ্যালেণ্ট $M_1, M_2 \cdots$ $\cdots$ হয় তাহা হইলে দেখা যায়, $\frac{m_1}{M_1} = \frac{m_2}{M_2} = \cdots\cdots$ ধ্রুবক

ফ্যারাডে ও ইলেকট্রোকেমিক্যাল ইকুইভ্যালেণ্ট

যেহেতু প্রথম সূত্র অনুসারে সমপরিমাণ চার্জ প্রবাহের জন্য মুক্ত আয়নের ভর মৌল পদার্থের ইলেক্‌ট্রোকেমিক্যাল ইকুইভ্যালেণ্টের সমানুপাতী এবং দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে সমপরিমাণ চার্জ প্রবাহের জন্য জমায়িত আয়নের ভর কেমিক্যাল ইকুইভ্যালেণ্টের সমানুপাতী সুতরাং যে কোনও মৌল পদার্থের কেমিক্যাল ইকুইভ্যালেণ্ট ও ইলেক্‌ট্রো কেমিক্যাল ইকুইভ্যালেণ্ট পরস্পর সমানুপাতী অর্থাৎ $\frac{M}{z}$ ধ্রুবক। বিভিন্ন মৌল পদার্থের কেমিক্যাল ইকুইভ্যালেণ্ট ও ইলেকট্রো-কেমিক্যাল ইকুইভ্যালেণ্টের ভাগফল লইলে এই ধ্রুবকের মান হয় 96500 কুলম্ব।

সুতরাং বলা যায়, প্রত্যেক মৌল পদার্থের গ্রাম ইকুইভ্যালেণ্ট পরিমাণ আয়ন মুক্ত করিতে নির্দিষ্ট পরিমাণ চার্জের প্রয়োজন হয় এবং এই নির্দিষ্ট পরিমাণ

*Chemical equivalent or equivalent weight = Atomic weight ÷ valency.

চার্জের মান 96500 কুলম্ব। এই পরিমাণ চার্জকে 1 ফ্যারাডে বলে অর্থাৎ 1 ফ্যারাডে (1 Farady)=96500 কুলম্ব (Coulomb)।

Element	Chemical equivalent	E. C. E.
Hydrogen	1·008	000010
Copper	31·75	·000329
Silver	108	·001118

সারাংশ

জুলের সূত্র ঃ (1) পরিবাহী তারের রোধ ও বিদ্যুৎপ্রবাহের সময় অপরিবর্তিত থাকিলে তারে উৎপন্ন তাপ বিদ্যুৎপ্রবাহের মানের বর্গের সমানুপাতী। (2) বিদ্যুৎপ্রবাহের মান ও প্রবাহের সময় অপরিবর্তিত থাকিলে উৎপন্ন তাপ তারের রোধের সমানুপাতী। (3) বিদ্যুৎপ্রবাহের মান ও পরিবাহী তারের রোধ অপরিবর্তিত থাকিলে উৎপন্ন তাপ প্রবাহকালের অবকাশের সমানুপাতী।

ফ্যারাডের বিদ্যুৎ-চুম্বকীয় আবেশের সূত্র ঃ (1) বদ্ধবর্তনীর সহিত সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তন ঘটিলে বর্তনীতে ক্ষণস্থায়ী বিদ্যুৎপ্রবাহ আবিষ্ট হয়। বলরেখার সংখ্যাবৃদ্ধি ঘটিলে প্রবাহ যে দিকে হয়, সংখ্যা হ্রাস পাইলে প্রবাহ তাহার বিপরীত দিকে হয়। (2) আবিষ্ট বিভব-বৈষম্য অথবা বিদ্যুৎপ্রবাহের মান কুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট বলরেখার সংখ্যা পরিবর্তনের হারের সমানুপাতী।

ফ্যারাডের তড়িৎ বিশ্লেষণের সূত্র ঃ (1) ইলেকট্রোলাইটের মধ্য দিয়া বিদ্যুৎপ্রবাহ চালনা করিলে ইলেকট্রোডে জমায়িত আয়নের ভর ইলেকট্রোলাইটের মধ্য দিয়া প্রবাহিত মোট চার্জের সমানুপাতী। (2) বিভিন্ন ইলেক ট্রোলাইটের মধ্য দিয়া নির্দিষ্ট পরিমাণ চার্জ প্রবাহিত হইলে বিভিন্ন ইলেকট্রোডে জমায়িত আয়ণের ভর স্ব স্ব মৌলিক পদার্থের রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সমানুপাতী।

অনুশীলনী

1. State Joule's law. Describe an experiment to show that heat developed in a conductor is proportional to the square of the current. How the rise in temperature of the coil is related to the current flowing through the conductor.

2. State the laws of electromagnetic inductioo. Describe suitable experiments to illustrate the laws.

3. Draw a neat diagram showing the house wiring system for two electric incandescent lamps.

4. Write short notes on :

(a) A. C. Dynamo, (b) D. C. Dynamo, (c) Electric motor.

5. Write down the equation correlating heat developed in a conductor with the current flowing through the conductor, its resistance and the time for which the current flows through the conductor. Find the amount of heat developed in a resistance of 75 Ohms when a current of 2·5 amperes flows for one minute.

6. State Faraday's laws of electrolysis. Define E. C. E. and Faraday.

BURDWAN UNIVERSITY
UNIVERSITY ENTRANCE QUESTIONS

PHYSICS

Answer *six* questions, taking *three* from each group.

Group A

1. Define work, power and Energy.

State Newton's laws of motion and illustrate the first and third law only giving one example of each.

2. State Pascal's Principle on the transmission of liquid pressure. Draw a neat diagram and describe the action of a hydraulic press. The area of the small piston of a hydraulic press is one square foot and that of the larger piston 20 sq. ft. How much weight can be raised on the larger piston by a force of 200 lbs. acting on the small piston.

Or, Give a brief description of Fortin's barometer.

Calculate the atmospheric pressure in dynes per cm^2, from the following data. Corrected reading of barometer =760 mm.

Acceleration due to gravity=981 cm. sec^2
Density of mercury=13·6 gm/cc.

3. Explain what is meant by the coefficient of linear expansion and state the relation between coefficient of linear and cubical expansions of Solids. Describe any method of determining the coefficient of linear expansion of a Solid.

4. Distinguish between the thermal capacity and water equivalent of a body. 500 gms of a solid which is at temperature 100°c is plunged into water of mass 100 gms. at a temperature of 12°c which is kept in a Calorimeter of water equivalent 10 gms. If the final common temperature be 49°c. find the specific heat of the solid.

Or, What do you mean by the term mechanical equivalent of heat ?

What is its value in C. G. S. unit ?
A mass of 50 kilograms falls from a height of 10 meters into water. If the whole energy is converted into heat, find the amount of heat generated.

5. Describe any method of determining the velocity of sound in air. How is the velocity of sound affected by change of pressure and temperature.

Or, What are the characteristics of a musical sound.
On what factors do they depend ?

The disc of a Siren is making 10 revolutions per second. How many holes must it possess in order that it may be in unison with a tuning fork of frequency 480 ?

Group B

6. State the laws of refraction of light. How would you verify them experimentally? To a man looking vertically down-wards into a tank filled with water, the bottom appears to be at a depth of 10 feet. Find the actual depth of the tank. Refractive index of water is 1·32.

7. Define Principal focus and focal length of a convergent lens. Determine by geometrical construction the position of the image formed by a thin double convex lens of an object placed at (a) infinity (b) a distance 2 ft. from the lens. (c) Principal focus.

Or, What is dispersion of light?

Describe an experimental arrangement for the production of a pure Spectrum on a Screen.

8. How would you distinguish between a magnet, a magnetic subastance and a non-magnetic substance? How would you make an electro-magnet? Define unit magnetic pole and lines of force.

9. How would you prove that positive and negative electrifications are produced in equal quantities by friction?

Describe a gold leaf electroscope and explain how you will proceed to examine the nature of the charge of an electrified body with the help of this instrument.

10. Explain clearly the effects of local action and polarisation in a Simple cell. State how these defects are remedied in a Daniell cell.

11. Describe and explain the action of Simple form of tangent galvanometer. A current of 10 ampere produces a deflection of 45° in a tangent galvanometer. What is the value of the current which will produce a deflection of 30° in the same galvanometer.

Or, State and explain Ohm's Law.

Two Conductors of 4 and 5 ohms resistance are connected in parallel. Two such sets are put in series. What is the equivalent resistance of the four conductors connected in this way?

CALCUTTA UNIVERSITY
PRE-UNIVERSITY QUESTIONS

PHYSICS

Answer six *questions*, three *from* each group

Group A

1. Define "specific gravity" of a substance.

If the specific gravity of lead be 11·4, what will be its density in the c.g.s. and f.p.s. systems ?

In an experiment with Hare's apparatus the length of the column of water in one limb is 26·8 cms. What will be the length of a solution in the other limb, if the specific gravity of the solution be 1·34 ?

2. (a) State Newton's Laws of Motion. Show that the First Law provides a definition of force and the Second Law gives a measure of force.

(b) What is the meaning of the terms "Work", "Energy" and "Power" ? State and define the unit in each case in the c.g.s. system.

3. Explain the following statements :—

(a) The specific heat of copper is 1/10.

(b) The latent heat of water is 80 calories/gm.

(c) The water-equivalent of a vessel is 50 gms.

Describe briefly a method for determining the water-equivalent of a calorimeter.

4. Enunciate Charles' Law. Describe a simple experiment for verification of the law.

5. State the laws of transverse vibration of stretched strings.

What do you mean by "Quality" in connection with a musical sound ? Is it the same for the *same* sound produced by different musical instruments ? Explain.

6. What is an echo ?

Explain how the phenomenon of echo is utilised for determining the depth of a sea.

Group B

7. Describe any experiment to prove that the path of light is rectilinear in a homogeneous medium.

Distinguish between Umbra and Penumbra. Show, by neat drawing, an arrangement for having a shadow consisting only of Umbra.

8. Enunciate Snell's Law of refraction, and describe a method of verifying it. Define Refractive Index.

What is the phenomenon of "Total Reflection" ? What conditions must be fulfilled for a ray to suffer total reflection ? Illustrate this phenomenon by one common example.

9. You are asked to magnetise a sewing needle so that there will be a north pole at the pointed end. Describe a method by which this could be done.

What will be the nature of polarity developed, if at all, at the "eye" of the needle ? If you now break the needle into two, three or more pieces, what will you observe ?

10. Explain "Electrostatic Induction" with the aid of a suitable illustration.

An insulated positively electrified ball is made to approach an uncharged gold-leaf electroscope till it touches the electroscope. Describe and explain the effects observed, with the aid of suitable diagrams.

11. By what effects would you be sure of the existence of electric current in a wire ? Explain each of them by reference to common examples (one in each case).

State Ohm's Law as applied to an electric circuit. Express the law in symbol explaining clearly the meanings of the symbols used. State also the units in which they are usually expressed.

12. Describe the construction of a Tangent Galvanometer. (The working formula need not be deduced). Why is it so called ?

CALCUTTA UNIVERSITY
PHYSICS

Group A

1. State the laws of simple pendulum.

Describe how you can verify them experimentally.

2. Define 'Pressure at a point' and thrust, as applied to a liquid.

State Pascal's law for the transmission of pressure in a liquid.

The diameter of the smaller piston in a hydraulic press is *one* inch and that of the larger piston is *one* foot. How much weight can be raised on the larger piston by a force of 56 pounds acting on the smaller piston ?

3. Define 'Dew point' and 'Relative Humidity'.

Describe the method of determination of Relative Humidity with the help of Regnault's Hygrometer.

4. What do you mean by the statement that 'mechanical equivalent of heat is $4{\cdot}2 \times 10^7$ ergs per calorie ?

Briefly describe a method of experimentally determining the mechanical equivalent of heat.

5. What is Resonance ? Explain how this phenomenon is utilised for the determination of the velocity of the sound in air.

6. Explain, with the aid of a diagram, how sound waves are propagated in air.

Define *wavelength* and *frequency.*

Group B

7. State the laws of reflection of light and describe how you can verify them.

Prove that when a plane mirror is rotated through a certain angle, the reflected ray is rotated through twice the angle.

8. Explain, with the aid of a diagram, the meaning of 'Principal focus' of a covergent lens.

How would you proceed to determine the focal length of a convex lens in the laboratory ?

9. Define poles of a magnet. How do you localise them experimentally ?

"Repulsion is the surer test of magnetism". Explain this.

You are given three needles of exactly the same appearance and told that one is magnetised, the other is a magnetic substance (un-magnetised) and the third is a non-magnetic substance. How would you identify them with the help of a bar-magnet ?

10. Explain fully how a gold-leaf electroscope can be charged with positive electricity by induction.

How can you employ the instrument to detect the nature of charge on an insulated conductor ?

Prove that equal and opposite kinds of electricity are simultaneously developed by friction.

11. What are the principal defects of a simple voltaic cell ? Explain each of them and show how they can be avoided.

A circuit is formed of *six* similar cells in series and a wire of resistance 9 ohms. If the E. M. F. of each cell is 1 volt and the internal resistance of each is 0·5 ohm, calculate the current in the circuit.

12. Describe *two* simple experiments, showing the effect of electromagnetic induction.

Explain the principle of working of a simple dynamo.

BURDWAN UNIVERSITY
PHYSICS

Group A

1. State Hooke's law and "Young's modulus of elasticity." Describe a laboratory experiment for finding Young's modulus of a steel wire.

A cast iron beam of length 7 metres, and supported at its ends, bends 2 cm. when a lead of 50 kilos is placed at the middle point. How much will it bend under a load of 75 kilos ? What load will be required to bend it 3 cm. ?

2. Explain how you would determine the specific gravity of a liquid by Nicholson's Hydrometer.

A Nicholson's hydrometer sinks to a certain mark in a liquid of specific gravity 0·6 but it takes 120 gm. to sink to the same make in water. What is the weight of the hydrometer ?

3. Describe with a neat sketch a six's thermometer and discuss the principle on which it works.

A faulty thermometer reads 1° when placed in melting ice and 96° in steam at normal barometric pressure. Find the correct temperature when the thermometer reads 38°, the bore of the thread and graduations being supposed uniform.

4. Give a complete explanation of any *four* of the following :—

(*a*) Specific heat of copper is ·092.

(*b*) Fish can live and move about in a frozen lake.

(*c*) A fan gives a feeling of comfort during hot weather.

(*d*) It is easier to use a platinum wire into a glass tube than a copper wire.

(*e*) Water can be made to boil in a thin paper bag without charring the paper.

(*f*) It is hotter the same distance over the top of a fire than it is in front of it.

5. What is an echo? Why is a succession of echoes sometimes heard?

The pilot of an aeroplane, travelling horizontally at 120 m. p. h. fires a gun and hears the echo from the ground after 3 secs. Find the height of the aeroplane (Velocity of sound in air is 1,120 ft/sec.)

6. State what is meant by transverse and longitudinal wave motions. Give an example of each type. Define wave-length and establish a relation between wavelength and velocity of wave motion in a free medium.

Compare the wavelengths in air of the sounds given by two tuning forks of frequencies 128 and 384 respectively.

Group B

7. Distinguish between a real and virtual image. How would you experimentally find the position of a virtual image?

Prove by means of a diagram that a man can see the whole of his person in a mirror, the length of which is half his own height.

8. Explain the terms, "critical angle" and "total reflection". Obtain a relation between the critical angle and the refractive index.

If the refractive index of Benzene is 1·5, what is the value of the critical angle?

9. Explain your observation on a gold-leaf-electroscope in the following cases with necessary diagrams :

(*a*) a negatively charged ebonite rod is placed in contact with the disc of an uncharged electroscope, (*b*) the same ebonite rod is placed near the disc of the electroscope, (*c*) at this stage the disc of the electroscope is momentarily touched by hand, and (*d*) the ebonite rod is taken away.

Has there been any loss of charge of the ebonite rod during the above operations?

10. Give a short account of the molecular theory of magnetism.

11. State the laws of electrolysis and verify them.

A current of 2 amperes is passed through a copper sulphate solution. The area of the cathode surface 150 sq. cm.

Calculate the increase in the thickness of copper deposit after an hour. [E. C. E. of copper = ·000329, density of copper = 8·9].

12. State Faraday's laws on electromagnetic induction and verify them. Give the principle of working of a simple dynamo or any other application of electromagnetic induction.

CALCUTTA UNIVERSITY
PHYSICS

Group A

1. State the 'Principle of Archimedes.'

Describe an experiment, based on this principle, to determine the specific gravity of a solid which is heavier than but insoluble in, water.

A body weight 100 gms. in air and 80 gms. in water. How much would it weight in a liquid of density 1·5 gms. per cc ?

2. (a) What do you mean by the statement that the atmospheric pressure is 76 cms. of mercury ?

Express this pressure in dynes per sq. cm. (sp. gr. of mercury = 13·6)

(b) State Hooke's Law and define the terms : Stress, Strain and Elastic limit.

3. What is the meaning of the statement that the Latent heat of steam is 536 calories per gm. ?

Define : Specific heat, Water-equivalent and Thermal capacity.

A piece of iron (sp. heat = 0·112) at 90°C is dropped into a calorimeter containg 25 gms. of water. The final temperature of the mixture is 29°·5C. If the water equivalent of the calorimeter is 4·8 gms., find the initial temperature of water in the calorimeter.

4. Distinguish between saturated and unsaturated vapours. Define vapour pressure.

Describe an experiment to show that water can be made to boil at a temperature less than 100°C.

5. What are *longitudinal* and *transverse* waves ? What is the nature of propagation of sound waves ? Can sound pass through empty space ? Describe an experiment in support of your answer.

6. Explain the possible modes of vibration in a closed organ pipe,

Show how the frequencies of overtones are related to the frequency of the fundamental note in this case.

Group B

7. What is the meaning of the statement that the refractive index of glass is 1·5 ?

Trace the path of a ray through a parallel-sided block of glass and hence show how the refractive index of glass can be measured.

8. Prove that the image of a luminous point, formed by a plane mirror, is as far behind the mirror as the luminous point is in front of the mirror.

What is the nature of the image ?

Describe a simple periscope and state its use.

9. Define the terms : (a) Horizontal component of the earth's magnetic field and (b) Magnetic dip.

How do you determine the magnetic dip at a particular place ?

10. Describe a gold-leaf electroscope.

An electroscope is charged positively and an insulated metal rod is brought close to the electroscope. State and explain what will happen when the rod is (a) uncharged, (b) charged negaitvely, and (c) charged positively.

11. A wire carrying a current is stretched over and parallel to a compass-needle and the action on needle observed. The wire then is coiled several times round the compass-needle and the action on needle again observed. Which action is larger ? Why ?

Define : (a) *c.g.s.* unit of current.
(b) practical unit of resistance.

12. Describe, in brief outlines the construction and action of a simple motor.

Give a neat diagram.